

HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES

SCIENTIFIQUES MODERNES,

PAR

LOUIS FIGUIER,

Docteur ès-sciences.

TOME DEUXIÈME.

BRUXELLES.

DELEVINGNE ET CALLEWAERT, IMPRIMEURS-ÉDITEURS,

Chaussée d'Ixelles, 90.

1854



HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES

SCIENTIFIQUES MODERNES.



Imprimerie de Delevingne et Callewaert.

HISTOIRE

DES

PRINCIPALES DÉCOUVERTES

SCIENTIFIQUES MODERNES,

PAR

LOUIS FIGUIER,
Docteur ès-sciences.

TOME DEUXIEME.





IXELLES LEZ BRUXELLES.
Delevingne et Callewaert, imprimeurs-editeurs,
Chaussée d'Ixelles, 90.

1852

Le nouveau volume que je présente au public renferme l'histoire des applications mécaniques de la vapeur depuis l'origine de cette découverte jusqu'à nos jours. La machine à vapeur a été consacrée d'abord au service de l'industrie. Bornée longtemps aux travaux de ce genre, elle sortit, il y a un demi-siècle, des manufactures et des usines, pour s'installer à bord des navires et servir aux usages de la navigation sur les fleuves et les mers. Enfin de nouveaux perfectionnements apportés de nos jours à son mode d'action ont permis de l'appliquer aux transports rapides sur les chemins de fer. Ces trois périodes bien distinctes de l'histoire de la machine à vapeur ont déterminé les trois divisions qui partagent le deuxième et troisième volume de cet ouvrage : *Machines à vapeur appliquées à l'industrie.* — *Bateaux à vapeur.* — *Chemins de fer.*

L'auteur reste donc fidèle au système qu'il a adopté dans le précédent volume. Le procédé historique lui semble, en effet, offrir pour l'étude des faits scientifiques une utilité incontestable. Conduisant le lecteur sans trop de fatigue le long de la chaîne successive des perfectionnements de l'invention primitive,

procédant du simple au composé, atténuant les difficultés, parce qu'elle les répartit sur une surface plus étendue, cette méthode, que l'on pourrait appeler *la science enseignée par l'histoire,* présente, pour l'intelligence des théories scientifiques des avantages qu'il est facile d'apprécier.

Les personnes qui ont suivi les différents ouvrages publiés en Angleterre et en France sur l'histoire de la machine à vapeur reconnaîtront sans peine les différences qui existent entre ce travail et ceux qui l'ont précédé. Les notions concernant la vapeur dans l'antiquité et le moyen âge, le rôle de Salomon de Caus dans la découverte de la machine à vapeur, les travaux de Savery sur la pompe à feu, les rapports de Fulton avec l'Institut de France, les essais de Cugnot sur la locomotive, sont autant de points historiques sur lesquels j'ai été conduit à m'écarter des opinions reçues. Il m'a d'ailleurs paru inutile de combattre ici directement les assertions des écrivains dont je rejetais les vues. Ces sortes de polémiques, dans lesquelles l'auteur qui tient la plume se donne toujours le beau rôle, n'ont aucun attrait pour le lecteur, et sont dépourvues pour lui de toute utilité; il est donc plus simple de lui en épargner l'ennui. Je me suis contenté d'appuyer de documents et de textes authentiques les assertions nouvelles que j'ai émises; si quelques erreurs me sont échappées dans l'interprétation de ces textes, j'accueillerai leur rectification avec reconnaissance.

La machine à vapeur est l'âme de l'industrie contemporaine; nous ne pouvons faire un pas hors de nos demeures, sans être témoins de ses effets ou jouir

de ses avantages. Cependant bien peu de personnes autour de nous savent se rendre compte de son action. Je me suis efforcé, dans les trois notices que l'on va lire, d'exposer les principes sur lesquels repose son mécanisme de manière à être compris des lecteurs, même les moins préparés à ce genre d'études. Si je n'ose me flatter d'avoir réussi dans cette tentative, je puis espérer du moins que mon exemple déterminera de plus habiles écrivains à entrer dans cette voie utile, et là sera la plus douce récompense de mes efforts.

Paris, 25 mai 1852.

LA MACHINE A VAPEUR.

CHAPITRE PREMIER.

Notions concernant la vapeur dans l'antiquité et le moyen âge.

La plupart des écrivains qui se sont occupés de l'histoire de la machine à vapeur ont placé dans l'antiquité le berceau de cette invention. Cette opinion nous semble inadmissible. La machine à vapeur est d'origine moderne, et c'est vainement que l'on essayerait de chercher dans les vagues traditions scientifiques de la Grèce et de Rome la trace des idées qui présidèrent à sa création. La science que nous désignons aujourd'hui sous le nom de *physique* n'existait pas chez les anciens. Quelques connaissances dues au hasard, ou introduites par la pratique des arts vulgaires, résument pour nous toute la physique des Grecs. C'est que l'art d'observer, le secret d'étudier un fait en l'isolant, par une opération de l'esprit, de tout ce qui l'entoure, fut à peu près ignoré des anciens. La

vague et poétique imagination des philosophes de la Grèce avait entraîné la science naissante dans une voie diamétralement opposée à celle de ses progrès. Au lieu d'étudier la marche naturelle des faits qui tombent sous les sens, on voulait pénétrer la nature intime des phénomènes et remonter jusqu'à la secrète essence de leurs causes. L'importance et la grandeur des faits attiraient surtout l'attention; on s'attachait obstinément à poursuivre des problèmes destinés à rester à jamais insolubles; on construisait l'univers avant de l'avoir entrevu. Cette philosophie, qui arrêta dès le début la marche des sciences physiques, retarda de vingt siècles leur création. Placer au sein d'une pareille époque l'origine de la découverte la plus importante des temps modernes, c'est donc fausser ouvertement les traditions de l'histoire, et le rapide examen des faits montrera sur quelles bases futiles cette opinion s'était fondée.

C'est à un écrivain grec d'Alexandrie, Héron, qui vivait cent vingt ans avant l'ère chrétienne, que la plupart des auteurs modernes rapportent avec Robert Stuart et M. Arago : « L'honneur d'avoir inventé et construit la première machine à vapeur connue[1]. »

Le petit traité de Héron, intitulé *Spiritalia*, renferme les passages qui ont mérité au philosophe grec d'être proclamé le premier inventeur d'une machine construite dix-huit siècles après lui. Ce livre était loin de prétendre à une destinée si brillante; ce n'est autre chose, en effet, que ce que nous nommerions aujour-

[1] Robert Stuart, *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 32.

d'hui un recueil de physique amusante. Il renferme la description d'une série d'appareils destinés à manifester certains effets curieux de l'air et de l'eau ; les matières y sont exposées sans ordre et sans liaison logique; aucune explication, aucune théorie ne s'y trouvent jamais invoquées. Pour que nos lecteurs puissent en juger par eux-mêmes, nous rapporterons les divers passages sur lesquels on s'appuie pour accorder à Héron la première idée de la machine à feu.

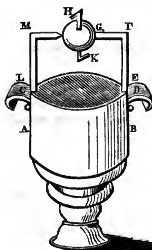
Le quarante-cinquième appareil décrit par le philosophe grec se compose d'une marmite contenant de l'eau et fermée de toutes parts, à l'exception d'une ouverture donnant accès à un tube vertical ouvert. Dans l'intérieur de ce tube on place une petite boule; par l'action de la chaleur, cette boule est projetée au dehors. Dans un travail rempli d'érudition, publié cette année même dans l'*Encyclopédie moderne*, M. Lalanne donne à cet appareil de Héron le nom de *marmite à vapeur chassant un projectile*. Nous l'appellerions plus simplement *marmite soulevant son couvercle*, et nous n'avons pas besoin d'ajouter que la découverte d'un tel fait n'appartient pas à Héron, mais bien au premier homme qui, assis au coin de son foyer, vit le couvercle de la marmite où cuisaient ses aliments se soulever par l'effort de la vapeur. Si les titres du philosophe grec à la découverte de la machine à vapeur ne reposaient pas sur des fondements plus sérieux, il aurait à soutenir avec quelque petit-fils d'Adam une discussion de priorité.

Dans les figures suivantes, Héron décrit divers mécanismes qui permettent, au moyen de l'air comprimé

ou dilaté par l'action du feu, de faire sonner la trompette d'un automate, siffler un dragon de bois, ou tourner en rond de petits bonshommes. Nous ne dirons rien de tous ces appareils, qui ne sont que des variations sans fin du célèbre instrument connu et expérimenté dans nos cours publics sous le nom de *fontaine de Héron*. Nous arriverons tout de suite au passage célèbre où se trouve décrit le petit appareil que l'on considère aujourd'hui comme le premier modèle de la machine à vapeur. Voici le texte original du philosophe grec :

« Faire tourner une petite sphère sur son axe au moyen d'une marmite chauffée.

« Soit AB une marmite contenant de l'eau et soumise à l'action de la chaleur. On la ferme au moyen d'un couvercle CD qui traverse le tube recourbé EFG dont l'extrémité G pénètre dans la petite sphère creuse HK suivant un diamètre. A l'autre extrémité du diamètre est placé le pivot qui est fixé sur le couvercle CD au moyen de la tige pleine LM. De la sphère sortent deux tubes placés suivant un diamètre (à angle droit sur le premier), et recourbés à angles droits en sens inverses l'un de l'autre. Lorsque la marmite sera échauffée, la vapeur passera par le tube EFG dans la sphère, et, sortant par les tubes infléchis (à angles droits),



fera tourner la sphère de la même manière que les automates qui dansent en rond [1]. »

Tel est l'appareil que M. Arago signale comme « le premier exemple de l'emploi de la vapeur comme force motrice [2]. » Est-il nécessaire de dire qu'en décrivant ce joujou qui tourne *comme des automates qui dansent en rond,* le philosophe d'Alexandrie ne le présente nullement comme pouvant devenir l'origine d'une force motrice? Toutes les expériences exposées dans son traité ne sont que des tours de physique amusante, et l'auteur ne perd pas son temps à étudier les causes des phénomènes qu'il décrit. Si l'on voulait d'ailleurs rechercher par quelle interprétation théorique Héron expliquait le fait qu'il nous présente, on ne pourrait, d'après son texte, la rapporter qu'à la seule action de la chaleur. Il dit en effet, dans l'énoncé de son problème, « faire tourner une petite sphère au moyen d'une marmite chauffée, » et non, « au moyen de la vapeur d'eau. » Héron ne pouvait faire jouer ici aucun rôle à la vapeur, par cette raison fort simple que l'existence même de la vapeur d'eau était inconnue de son temps. Avec tous les philosophes de son époque, il ne voyait dans la vaporisation d'un liquide que sa transformation en air, et dans son livre il ne fait jamais allusion qu'aux effets mécaniques produits par l'air comprimé ou dilaté par le feu. Ainsi les physiciens qui sont venus après lui n'ont pu expliquer le phénomène de la rotation de sa petite sphère que par

[1] *Herouis Alexandrini spiritalia* (*Veterum mathematicorum opera*, p. 202.)

[2] *Notice sur la machine à vapeur.* (*Annuaire du bureau des longitudes*, 1837, p. 226.)

l'écoulement et la réaction de l'air chaud qui provenait lui-même de la transformation de l'eau en air. On trouve, dans une autre partie de son traité, la description d'un petit appareil en tout semblable au précédent, et dans lequel seulement un courant d'air chaud remplace le courant de vapeur.

Le jouet décrit par Héron d'Alexandrie ne nous semble donc mériter à aucun titre l'honneur de figurer dans l'histoire de la machine à vapeur. L'existence même de la vapeur d'eau étant ignorée des anciens, il est difficile d'admettre que l'on ait pu à cette époque imaginer une machine fondée sur la connaissance des propriétés de cet agent [1].

[1] Cette erreur de l'ancienne physique sur la transformation de l'eau en air par l'action de la chaleur se prolonge d'ailleurs bien longtemps après le philosophe d'Alexandrie. Le célèbre architecte romain Vitruve, contemporain d'Auguste, dit, en parlant de l'*éolipyle*, appareil très-anciennement connu : « Les éolipyles sont des boules d'airain qui sont creuses et qui n'ont qu'un très-petit trou par lequel on les remplit d'eau. Ces boules ne poussent aucun air avant d'être échauffées; mais étant mises devant le feu, aussitôt qu'elles sentent la chaleur, elles envoient un vent impétueux vers le feu, et ainsi enseignent par cette petite expérience des vérités importantes sur la nature de l'air et des vents. » Ces vues erronées étaient encore professées au XVIe siècle. Cardan, par exemple, s'exprimait ainsi : « Vitruve apprend à faire des vases qui produisent du vent; ils sont ronds et fermés de toutes parts, à la réserve d'un seul trou qui est muni d'un tuyau très-étroit; on les remplit d'eau et on les présente au feu; le liquide se transforme en air, s'échappe par le tuyau, et augmente l'ardeur du brasier. » Au XVIIe siècle, Claude Perrault, dans sa traduction de Vitruve, reproduit cette théorie. A la même époque, l'illustre physicien Boyle continuait à admettre la transformation de l'eau en air par le fait de la chaleur.

On ne sera pas surpris, d'après les idées inexactes qui ont régné si longtemps sur le phénomène de la vaporisation des liquides, de voir des siècles entiers s'écouler sans apporter la moindre notion sur les effets mécaniques de la vapeur. Cette circonstance explique la pénurie d'arguments et de faits dans laquelle se sont trouvés les écrivains qui ont voulu placer à une époque reculée l'origine de l'invention qui nous occupe. Pour montrer à quelles pauvres ressources on en est réduit sous ce rapport, il nous suffira de rappeler l'anecdote de l'historien byzantin, Agathias, que l'on a coutume d'invoquer à cette occasion. M. Lalanne, dans le travail cité plus haut, donne, d'après M. Léon Rénier, la traduction suivante de ce passage de l'ouvrage d'Agathias :

« Il y avait à Byzance un homme appelé Zénon, inscrit sur la liste des avocats, distingué d'ailleurs, et très-bien avec l'empereur. Il était voisin d'Anthémius, au point que leurs deux maisons paraissaient n'en faire qu'une et être comprises dans les mêmes limites. A la longue, une mésintelligence éclata entre eux, soit pour une fenêtre ouverte contrairement à l'usage, soit pour un bâtiment dont la hauteur excessive interceptait le jour, soit enfin pour quelqu'une de ces nombreuses causes qui ne manquent jamais d'amener des dissensions entre très-proches voisins.

« Anthémius, ayant eu le dessous devant les tribunaux, ainsi qu'il devait s'y attendre, ayant pour adversaire un avocat, et n'étant pas capable de lutter d'éloquence avec lui, imagina pour se venger le tour suivant, que lui fournit l'art qu'il cultivait :

« Zénon possédait un appartement très-élevé, très-

large, très-beau et très-orné, où il avait l'habitude de recevoir ses amis et de traiter ceux qui lui étaient le plus chers. Le rez-de-chaussée de cet appartement appartenait à Anthémius, de sorte que le plancher intermédiaire servait de toit à l'un et de sol à l'autre. Anthémius fit placer dans ce rez-de-chaussée de grandes chaudières pleines d'eau, qu'il entoura extérieurement de tuyaux de cuir assez larges à leur base pour embrasser entièrement le bord des chaudières, mais diminuant ensuite de diamètre comme une trompette, et se terminant dans des proportions convenables. Il fixa les bouts de ces tuyaux aux poutres et aux planches du plafond, et les y attacha avec soin; de sorte que l'air qui y était introduit avait le passage libre pour s'élever dans l'intérieur vide des tuyaux et aller frapper le plafond à nu, dans l'endroit où il lui était permis d'arriver, et qui était entouré par le cuir, mais ne pouvant s'écouler ni s'échapper au dehors. Ayant donc fait secrètement ces préparatifs, Anthémius alluma un grand feu sous les chaudières et y produisit une grande flamme, et l'eau s'échauffant bientôt et entrant en ébullition, il s'en éleva beaucoup de vapeur épaisse et fumeuse qui, ne pouvant s'échapper, monta dans les tuyaux et s'y élança avec d'autant plus de violence qu'elle était resserrée dans un plus étroit espace, jusqu'à ce que frappant continuellement le plafond, elle l'ébranla tout entier, au point de faire légèrement trembler et crier les bois. Or Zénon et ses amis furent troublés et épouvantés, et ils s'élancèrent dans la rue en criant et poussant des exclamations, et Zénon, s'étant rendu au palais de l'empereur, demandait aux personnes de sa connaissance ce qu'elles

savaient du tremblement de terre, et s'il ne leur avait pas causé quelque dommage. »

D'après nos connaissances actuelles sur les propriétés de la vapeur d'eau, cette expérience, telle qu'elle est rapportée par Agathias, ne pouvait en aucune manière produire les résultats qu'il annonce. Aussi M. de Montgéry, qui a publié en 1825, dans les *Annales de l'industrie,* une série d'articles en vue de rechercher l'origine de la machine à vapeur dans l'antiquité, n'admet-il point que le mécanisme décrit par Agathias soit le même que celui qu'employa Anthémius : « L'extrémité évasée des tuyaux, dit M. de Montgéry, devait être placée sous les poutres, et non au delà; elle devait s'ouvrir tout à coup au moyen d'une soupape ou d'un robinet; alors seulement il y aurait eu une vive secousse [1]. » Par malheur, l'historien de Byzance ne fait mention ni de robinet ni de soupape; il est donc plus simple de regarder comme apocryphe l'aventure romanesque d'Agathias.

C'est avec un sentiment semblable qu'il faut accueillir l'assertion émise par Robert Stuart en ces termes laconiques : « En 1563, un certain Mathésius, dans un volume de sermons intitulé *Sarepta,* parle de la possibilité de construire un appareil dont l'action et les propriétés paraissent semblables à celles de la machine à vapeur moderne [2]. »

Ce Mathésius, d'après M. Lalanne, était maître

[1] *Annales de l'industrie nationale et étrangère,* t. IX. p. 70.

[2] Robert Stuart. *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 52

d'école à Joachimstall, ville de Bohême autrefois célèbre par ses mines d'argent, de cuivre et d'étain. Son ouvrage, imprimé à Nuremberg en 1562, n'est qu'un livre de prières; c'est le *Sermonnaire des mines*. Le passage auquel l'écrivain anglais fait allusion est ainsi conçu : « Au moyen de l'eau, du vent et du feu, et moyennant de beaux mécanismes, que l'eau et le minerai s'élèvent et soient mis en mouvement de plus grandes profondeurs, afin que la dépense soit diminuée et que ces trésors cachés puissent être d'autant plus tôt percés et mis au jour... Vous, mineurs, glorifiez dans les chants des mines l'excellent homme qui fait monter aujourd'hui le minerai et l'eau sur le Platten au moyen du vent, et comment maintenant on élève l'eau au jour avec le feu. »

Il faut une bonne volonté bien prononcée pour trouver dans le texte de cette exhortation évangélique l'indication d'un appareil, « dont l'action et les propriétés paraissent semblables à celles de la machine à vapeur moderne. » Il pouvait exister dans les mines diverses machines mues par le vent ou par l'air échauffé; mais rien n'indique, dans la pieuse invocation de Mathésius, l'allusion même la plus voilée à une machine agissant au moyen de l'eau réduite en vapeur.

Robert Stuart ajoute : « Trente ans après, dans un livre imprimé à Leipsick en 1597, on trouve la description de ce qu'on appelle un éolipyle, que l'on peut, dit-on, utiliser en l'adaptant à un tourne-broche. » L'éolipyle, appareil connu depuis une époque très-reculée, a beaucoup attiré l'attention des physiciens du moyen âge, qui ignoraient cependant la cause

des effets curieux qu'il produit, et s'imaginaient que l'eau s'y transformait en air. Il n'est donc pas impossible que l'insignifiante et pauvre application dont parle Robert Stuart ait pu être réalisée, bien qu'il ne nous donne aucune indication positive sur l'ouvrage qui la mentionne.

M. Arago et tous les écrivains français qui, s'occupant après lui de l'histoire de la machine à vapeur, se sont bornés à reproduire ses opinions, admettent que la première expérience qui ait permis de reconnaître la puissance mécanique de la vapeur d'eau a été faite au commencement du XVII[e] siècle par un gentilhomme de la chambre de Henri IV, nommé David Rivault, seigneur de Flurance, précepteur de Louis XIII. « Pour rencontrer, dit M. Arago, après les premiers aperçus des philosophes grecs, quelques notions utiles sur les propriétés de la vapeur d'eau, on se voit obligé de franchir un intervalle de près de vingt siècles. Il est vrai qu'alors des expériences précises, concluantes, irrésistibles, succèdent à des conjectures dénuées de preuves.

« En 1605, Flurance Rivault, gentilhomme de la chambre de Henri IV et précepteur de Louis XIII, découvre, par exemple, qu'une bombe à parois épaisses et contenant de l'eau fait tôt ou tard explosion quand on la place sur le feu *après l'avoir bouchée,* c'est-à-dire lorsqu'on empêche la *vapeur* d'eau de se répandre librement dans l'air à mesure qu'elle s'engendre. La puissance de la vapeur d'eau se trouve ici caractérisée par une épreuve nette et susceptible jusqu'à un certain point d'appréciations numériques : mais elle se présente encore à nous comme un terrible moyen de

destruction[1]. » M. Arago nous dit encore, à propos de l'expérience du marquis de Worcester, qui fit, dit-on, éclater un canon par l'action de la vapeur : « Cette expérience était déjà connue en 1605, car Flurance Rivault dit expressément que les éolipyles crèvent avec fracas quand on empêche la vapeur de s'échapper. Il ajoute même : « L'effet de la raréfac-« tion de l'eau a de quoi épouvanter les plus assurés « des hommes[2]. »

La meilleure manière de reconnaître si M. Arago a exactement traduit la pensée de l'auteur des *Éléments d'artillerie*, c'est évidemment de recourir à l'ouvrage lui-même. Le passage auquel M. Arago fait allusion se trouve au livre III, dans lequel Flurance Rivault cherche à établir la nature des substances qui peuvent entrer dans la composition de la poudre. Voici textuellement ce passage :

« *Conjecturer les ingrédients de la bonne poudre à canon.* — Il est certain que cherchans une prompte raréfaction, il faut l'avancer par la chaleur : car il n'y a point en la nature de plus agissante qualité. Le froid agit : mais il resserre. Les deux autres, sécheresse et humidité, n'ont que fort peu d'action et plustôt nous doivent servir de matière et de patient en ce dessein que d'agent. Voyons du froid s'il nous est propre. *L'eau humide qui se convertit en air se raréfie*, et en est la raréfaction suivie de violence. Voyez-vous ces instruments d'airain globeux et creux, qui ont un trou

[1] *Éloge historique de James Watt* (*Annuaire du bureau des longitudes*, 1839, p. 281).

[2] *Notice sur la machine à vapeur* (*Annuaire du bureau des longitudes*, 1837, p. 240).

par lequel on verse l'eau. Les Grecs les ont nommés *portes d'Éole,* parce que si vous les approchés du feu, le métal en est eschauffé, et l'eau quand et quand, *laquelle peu à peu se convertit en air par l'action de la chaleur, et estant faicte rare et vent,* elle sort par le trou avec force, et après ravive le feu par son souffle, qui le premier luy avoit donné estre. Il y a quelque apparence que si ce nouvel aër ne trouvoit lors issue libre par la petite porte, qu'il briseroit le vaisseau pour se donner jour : *ainsi que l'humidité de la chastaigne aéréfiée par le feu, la faict esclater rudement, pour se donner libre estendue. Que si la furie de cet esclat n'a d'estonnement que pour les enfants, l'effect de la raréfaction de l'eau a de quoy espouventer les plus asseurés homme en l'accident des tremblements de terre.* L'eau coulée ès cavernes de la terre au printemps principalement et en automne, y est eschauffée, soit par les feux qu'elle y rencontre souvent, soit par les chaudes exhalaisons qui sortent des soupiraux terrestres : tant que raréfiée et convertie en aër, le lieu qui la contenoit auparavant n'est plus capable d'embrasser si longues et si larges dimensions : tellement que pressée de s'estendre, et violentée par cet hoste devenu puissant, la terre s'entr'ouvre pour lui faire jour avec un desbriz espouvantable. Il y a un million d'autres effects de cette raréfaction d'humidité, qui nous pourroyent guider à l'exécution de quelque violence. Mais nous devons y considérer qu'elle ne se fait à coup : ains avec temps, et que la matière humide ne s'exhalle pas toute à la fois, mais peu à peu. Or nous cherchons de la promptitude et un effect momentané, principalement pour ce qui est

de l'action du canon. Car ce n'est pas qu'èz autres artifices du feu nous ne nous servions quelquefois d'humides, quand nous en voulons faire durer la violence. Mais cela n'est pas de ce lieu. Il faut donc nous attacher à la sécheresse, et à un subject sec qui ait peu de résistance contre la chaleur, et soit amy du feu. Car l'humide luy résiste : au contraire le sec est de sa nature mesme. Or ny l'air qui est humide et chaud, ni l'eau qui est froide et humide, ne nous peuvent donner ce corps sec que nous cherchons. L'eau en est la plus incapable, tellement que toutes choses humides et froides doivent être bannies de notre poudre, etc. [1]. »

Quand on a lu ce morceau confus, empreint des idées surannées de l'ancienne physique et tout rempli des lieux communs et des divagations qu'elle affectionne, on se demande comment M. Arago a pu l'honorer d'une interprétation aussi large. Rivault ne parle jamais de vapeur d'eau, comme on le lui fait dire, il parle seulement, d'après les opinions scientifiques de son époque, de la conversion de l'eau en air. Il ne fait aucune allusion à une expérience qu'il aurait exécutée, et il ne nous dit rien de cette « bombe à parois épaisses, et contenant de l'eau qui fait tôt ou tard explosion quand on la place sur le feu après l'avoir bouchée. » Il parle tout simplement de châtaignes « dont l'esclat n'a d'estonnement que pour les enfants; » et s'il nous dit que « l'effect de la raréfaction

[1] *Les éléments de l'artillerie concernant tant la théorie que la pratique du canon*, par le sieur de Flurance Rivault, 1608, p. 130.

de l'eau a de quoy espouvanter les plus asseurés des hommes, » il a soin d'ajouter « en l'accident des tremblemens de terre, » complément explicatif qui ramène le fait à sa véritable expression. Et convenez que cet *accident des tremblements de terre* et cette *furie des châtaignes,* sont bien faits pour ramener à sa juste valeur la prétendue découverte du précepteur de Louis XIII et pour affaiblir ses droits à la reconnaissance de la postérité.

Ainsi jusqu'à la fin du XVIe siècle, on ne trouve aucune notion positive concernant l'application des effets mécaniques de la vapeur d'eau. Ce fait ne surprend point, quand on se rappelle que toutes les connaissances que nous résumons aujourd'hui sous le nom de physique étaient enveloppées à cette époque de l'obscurité la plus profonde. La création des sciences positives pouvait seule apporter les notions précises qui devaient servir de point de départ à la découverte des effets mécaniques de la vapeur d'eau et à son emploi comme force motrice.

CHAPITRE II.

Création de la méthode scientifique. — Bacon, Descartes et Galilée. — Salomon de Caus. — Sa vie et ses écrits. — Sa prétendue découverte de la machine à vapeur.

C'est de la fin du XVIe siècle que date la régénération scientifique de l'Europe. Jusque-là les sciences physiques n'avaient existé que de nom. Depuis la chute de l'empire des Arabes, l'école d'Aristote cour-

bait sous son joug l'intelligence humaine. Le syllogisme pour tout instrument de recherches, de prétendues causes absolues pour point de départ et pour but, et pour règle suprême la parole du maître; le témoignage des sens récusé, les mystères religieux liés aux faits scientifiques, et tout ce bizarre assemblage de conceptions stériles qui méritent à peine l'honneur d'être rapportées, arrêtaient depuis dix siècles la marche de l'esprit humain. C'est en vain que par intervalles quelques hommes de génie avaient essayé de lutter contre le despotisme de l'autorité traditionnelle et fait briller aux yeux du monde les vrais principes de la philosophie naturelle. Ramus, Roger Bacon, Jordano Bruno, Cardan et plusieurs autres courageux réformateurs, avaient expié par la persécution ou la mort le crime d'avoir pensé. Ce honteux et déplorable empire devait enfin avoir son terme. La réformation religieuse accomplie par Luther avait fondé la liberté de conscience; les premières lueurs de l'émancipation politique commençaient à se lever sur les nations de l'Europe : une transformation semblable ne tarda pas à s'opérer dans les sciences, et compléta la révolution salutaire qui devait mettre l'humanité en possession de ses droits. C'est alors qu'apparaissent à la fois sur la scène du monde trois hommes destinés à jeter dans l'Europe régénérée les bases de l'édifice nouveau des connaissances humaines : Bacon en Angleterre, Descartes en France, et Galilée en Italie, sont les auteurs de cette révolution mémorable. Divers de pays, d'esprit et de caractère, ils attaquent à la fois, selon les formes et les aptitudes particulières de leur génie, l'échafau-

dage antique des doctrines qui asservissaient l'esprit humain; leurs hardis et salutaires efforts le renversent à jamais, et élèvent sur ses débris une philosophie nouvelle. Donnant à la fois le précepte et l'exemple, ils enseignent au monde la véritable méthode à suivre dans les recherches scientifiques, et marquent par leurs découvertes les premiers pas de la science naissante.

La révolution scientifique accomplie par les préceptes de Bacon, les découvertes de Galilée et les écrits de Descartes, embrasse une période bien tranchée. Commencée dans les dernières années du XVI[e] siècle, à l'époque des premiers travaux de Galilée, elle se termine vers le milieu du siècle suivant, en 1642, à la mort de ce savant. C'est seulement alors que le triomphe de la philosophie nouvelle est définitivement établi, et que la science, fondée désormais sur une base inébranlable, peut marcher sans entraves dans les voies de la vérité. Mais pendant l'intervalle d'un demi-siècle que cette période mesure, la science a péniblement à lutter contre les restes de l'esprit philosophique du passé, et elle n'est pas toujours victorieuse. Pendant longtemps encore l'ombre des vieilles erreurs enveloppe les conceptions des savants. Une métaphysique obscure embarrasse les théories de la science; les idées religieuses et morales continuent de se mêler aux explications physiques; on raisonne sur le plein et le vide, sur les qualités essentielles et sur les qualités accidentelles des corps; on disserte sur le sec et l'humide, sur le nombre et les propriétés des éléments; on s'obstine à discuter stérilement l'essence intime des phénomènes; on élève des hypothèses

sans fin sur la nature du feu, sur la mixtion des éléments; on prête à la nature des affections morales; on se perd, en un mot, dans la vaine subtilité des théories de la scolastique. Aussi l'expérience est-elle à peine invoquée, et quand on essaye d'y recourir, c'est toujours sur des sujets puérils ou ridicules que va s'exercer l'imagination des physiciens. On entreprend des recherches mécaniques pour expliquer les sons de la statue de Memnon, le jeu mystérieux de l'orgue du pape Sylvestre, ou le vol de la colombe d'Architas; on écrit des volumes pour découvrir les causes de la dissolution du veau d'or, ou pour savoir combien de milliers d'anges pourraient tenir, sans être pressés, sur la pointe d'une aiguille.

C'est au milieu de cette période à demi barbare de l'histoire des sciences, lorsque rien de ce qui ressemble à la physique n'existait et ne pouvait exister encore, que tous les écrivains se sont accordés jusqu'ici à placer la découverte de la machine à vapeur moderne. En France, c'est à Salomon de Caus, architecte et ingénieur obscur qui a écrit, en 1615, son livre : *Les raisons des forces mouvantes*, que l'on décerne l'honneur de cette invention. Il n'y a qu'une voix en Angleterre pour l'attribuer au marquis de Worcester, politique brouillon et mécanicien contestable qui vivait sous les derniers Stuarts. Enfin les écrivains italiens revendiquent pour leur pays la première invention des machines à feu, en invoquant, à ce sujet, les titres du physicien Porta, qui écrivait en 1605, ou ceux de l'architecte Giovanni Branca, qui a publié à Rome, en 1629, un ouvrage sur les machines.

Dans une histoire sérieuse de la machine à vapeur

tous ces noms devraient être écartés. On ne peut avoir songé à construire une machine ayant pour principe la force élastique de la vapeur d'eau, à une époque où l'on confondait avec l'air atmosphérique les fluides qui se dégagent des liquides en ébullition; quand on ne possédait sur les effets mécaniques de la vapeur que ces notions confuses, acquises depuis des siècles par l'observation vulgaire, et ne se liant à aucune vue théorique; lorsque les principales lois de l'hydrostatique étaient encore un mystère, lorsque les premiers linéaments de la physique générale étaient à peine tracés. Cependant, comme l'opinion contraire, établie sur l'autorité des noms les plus considérables de la science, jouit aujourd'hui d'un crédit universel, nous sommes tenu de l'examiner.

Les raisons des forces mouvantes avec diverses machines tant utiles que plaisantes aus quelles sont adjoints plusieurs desseings de grotes et fontaines, par Salomon de Caus, *ingénieur et architecte de Son Alteste palatine électorale*, tel est le titre de l'ouvrage qui renferme, dit-on, la description de la première machine à vapeur connue.

M. Baillet, inspecteur des mines, est le premier qui ait signalé, dans le livre profondément inconnu jusque-là de Salomon de Caus, un théorème relatif à l'action mécanique de l'eau échauffée, et qui ait prétendu trouver dans les dix lignes de ce théorème la première idée de la machine à vapeur[1]. L'étrange pro-

[1] *Notice historique sur les machines à vapeur, machines dont les Français peuvent être regardés comme les premiers inventeurs*, par M. Baillet, inspecteur divisionnaire au corps impérial des mines. (*Journ. des mines*, mai 1813, p. 321.)

cédé historique qui consiste à décerner à quelque écrivain obscur l'honneur de l'une des grandes inventions modernes, sans tenir aucun compte de l'état de la science à son époque, n'avait jamais été couronné d'un plus entier succès. Dans sa célèbre notice sur la machine à vapeur, publiée pour la première fois en 1828 dans l'*Annuaire du bureau des longitudes*, M. Arago a adopté et développé l'opinion émise par M. Baillet. Appuyée sur l'autorité de l'illustre secrétaire de l'Académie des sciences, elle est aujourd'hui unanimement admise, et le pauvre ingénieur normand, qui ne s'attendait guère à tant d'honneur, est proclamé, d'un accord unanime, le premier créateur de la machine à feu. Laubardemont disait, au XVIIe siècle, qu'avec dix lignes de l'écriture d'un homme il se chargeait de le faire pendre; notre siècle, plus généreux, avec dix lignes ramassées dans le livre inconnu d'un écrivain obscur, voue sa mémoire à l'immortalité. Cependant de tels arrêts sont susceptibles de révision, et en ce qui concerne Salomon de Caus, c'est une tâche que nous essayerons de remplir.

Il est difficile de juger les écrits d'un savant sans connaître les principaux événements de sa vie. Donnons, en conséquence, quelques détails sur Salomon de Caus, autant qu'il est permis de fournir des renseignements positifs sur un modeste artiste du XVIe siècle, à peu près ignoré de ses contemporains, et dont la gloire posthume ne devait briller que deux siècles après sa mort.

Le nom de Salomon de Caus n'est cité dans aucun des ouvrages biographiques de son temps; c'est à ses propres écrits qu'il faut emprunter les particularités

qui le concernent. Salomon de Caus naquit en 1576. Il était sans doute originaire de Normandie, car un de ses parents, Isaac de Caus, qui publia, quelque temps après lui, un ouvrage d'hydraulique, prend le titre de *Dieppois*. Dans la préface de l'un de ses écrits, Salomon de Caus nous apprend lui-même que les sciences et les arts l'occupèrent dès sa jeunesse; il étudiait la peinture et la musique, les langues anciennes et les mathématiques. Porté vers la mécanique par un goût particulier, il se consacra de bonne heure à l'étude de cette science. Ensuite, comme tous les artistes de son époque, il voyagea pour perfectionner ses connaissances. Il se rendit d'abord en Italie, où il séjourna quelque temps. Il passa de là en Angleterre, et réussit à entrer dans la maison du prince de Galles; il fut attaché comme maître de dessin à la princesse Élisabeth. Le prince de Galles ayant confié à l'artiste français le soin de décorer les jardins de son palais, Salomon de Caus peupla de groupes mythologiques les jardins de Richemont. Tout le personnel de l'Olympe figurait dans les décorations de cette résidence célèbre; des machines hydrauliques faisaient jaillir les eaux au milieu de ces statues allégoriques. Cependant la princesse Élisabeth, ayant épousé, en 1613, le duc de Bavière, Frédéric V, se disposait à partir pour l'Allemagne; elle consentit à emmener avec elle son maître de dessin en qualité d'ingénieur et d'architecte. A peine arrivé en Allemagne, Salomon de Caus fut chargé de diriger la construction de bâtiments nouveaux que le duc de Bavière se proposait d'ajouter à son palais de Heidelberg. Il fallait entourer de jardins le nouveau palais; on livra donc à l'ar-

chitecte une sorte de fourré sauvage, le Friesemberg, montagne inculte hérissée de rochers nus et creusée de profonds ravins. L'art changea promptement la face de ces lieux abandonnés. La montagne fut remuée de fond en comble, et bientôt, sur l'emplacement de ce site désert, on vit s'élever de beaux jardins, tout remplis d'ombre et de fraîcheur, ornés de maisons de plaisance, décorés d'arcs de triomphe et de portiques, égayés, suivant l'heureux style de cette époque, de fontaines jaillissantes et de grottes rocailleuses. Les délicieux jardins du palais de Heidelberg, qui ont été décrits dans un volume in-folio publié à Francfort, en 1620, sous le titre de *Hortus palatinus,* ont fait l'admiration de l'Allemagne jusqu'à l'époque où ils furent détruits, pendant l'un des siéges suivis de pillage qui désolèrent Heidelberg de 1622 à 1688.

C'est pendant le cours de ces derniers travaux, lorsqu'il dirigeait la construction des jardins de Heidelberg, que Salomon de Caus publia, dans la boutique de Jean Norton, libraire anglais établi à Francfort, son ouvrage sur les *Forces mouvantes.* Après la dédicace, adressée *au roi très-chrétien* (Louis XIII), vient une poésie laudative due à la plume d'un certain Jean le Maire, peintre et bel esprit du temps. Un acrostiche du poëte sur le nom de Salomon de Caus nous apprend que l'auteur de cet ouvrage n'était encore qu'en son *printemps.*

Salomon de Caus fit paraître, la même année, un traité sur la musique intitulé : *Institution harmonique divisée en deux parties : en la première sont montrées les proportions des intervalles harmoniques, et en la deuxième les compositions d'icelles.* Dans la préface de

cet ouvrage, dédié *à la très-illustre et vertueuse dame Anne, royne de la Grande-Bretagne*, l'auteur entreprend une dissertation historique pour prouver l'excellence de la musique, et il invoque l'histoire sacrée et l'histoire profane pour établir l'utilité de cet art, qui, selon lui, « *doit être colloqué au-dessus de toutes les sciences humaines.* » Entre autres preuves des bons effets de la musique, il nous apprend que « *la pudicité de Clitemnestre, femme d'Agamemnon, fut conservée aussi longtemps qu'un certain musicien dorien demeura avec elle.* »

Cependant l'architecte normand en était arrivé à son automne. Il avait quarante-sept ans, et depuis dix ans il résidait chez le palatin de Bavière. Le désir de revoir son pays abandonné depuis sa jeunesse, ou la mobilité de son humeur, le décidèrent à se séparer du prince. Il revint en France en 1623. De retour en Normandie, Salomon de Caus continua à vivre de son double métier d'ingénieur et d'architecte. Rien n'indique cependant qu'il possédât comme ingénieur des talents particuliers, car il resta étranger à tous les grands travaux de construction qui s'exécutèrent sous le règne de Louis XIII, et son nom n'a point laissé de traces dans l'histoire de l'art. Le seul témoignage qui nous reste de ses études à cette époque est un dernier ouvrage qu'il publia à Paris en 1624 : *La practique et démonstration des horloges solaires, avec un discours sur les proportions.* Ce dernier livre est dédié au cardinal de Richelieu.

A cela se bornent tous les renseignements que l'histoire a pu recueillir sur Salomon de Caus. La galerie d'antiquités de la ville de Heidelberg conserve

son portrait peint sur bois à la date de 1619. Sa vie est racontée succinctement à l'envers du panneau; on y fixe à l'année 1630 la date de sa mort.

Au milieu des simples événements de cette vie paisible, partagée entre la culture des beaux-arts et les devoirs d'une profession libérale, il est difficile de reconnaître le savant que l'on a coutume de nous représenter comme devançant son époque et devinant, deux siècles avant nous, les applications mécaniques de la vapeur. L'obscur architecte normand, qui passa ignoré de ses contemporains et de ses successeurs, est loin de répondre à ce personnage de génie dont le type convenu semble déjà être acquis à l'histoire. Examinons maintenant les passages de ses écrits que l'on a coutume d'invoquer pour lui attribuer la découverte de la machine à feu.

L'ouvrage de Salomon de Caus, *Les raisons des forces mouvantes*, se compose de trois livres, qui ont pour titre, le premier : *Les raisons des forces mouvantes;* le second : *Desseings de grotes et fontaines propres pour l'ornement des palais, maisons de plaisance et jardins;* et le troisième : *Fabrique des orgues.* C'est dans le premier livre, *Les raisons des forces mouvantes*, que se trouve l'article concernant la vapeur d'eau.

Le titre de cet ouvrage pourrait faire croire qu'il est consacré tout entier à l'étude des forces qui mettent en jeu les machines. Cependant il ne renferme que six pages relatives à l'équilibre de la balance, du levier, de la poulie, des roues à pignons dentelés et de la vis; le reste est consacré à la description de diverses machines hydrauliques propres à l'élevation

des eaux. Vient ensuite l'exposition des moyens à employer pour construire des grottes artificielles, des fontaines rustiques, et des cabinets de verdure pour l'ornement des jardins. Le troisième livre est un traité pratique assez complet de la fabrication des orgues d'église.

Donnons en quelques mots une idée des matières contenues dans le premier livre.

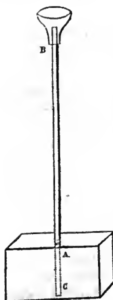
Dans un court préambule, l'auteur, suivant les principes de la physique de son époque, annonce qu'il se propose de définir les quatre éléments des corps, parce que tous les effets des machines se rapportent, selon lui, à ces éléments. Comme la définition du feu contient *une ligne* que l'on invoque quelquefois en faveur de Salomon de Caus, nous citerons textuellement le passage qui la renferme.

« *Définition première.* — Le feu, dit Salomon de Caus, est un élément lumineux, *chaud, très-sec,* et très-léger, lequel par sa chaleur fait grande violence.

« Il y a deux espèces de feu, l'un élémentaire, lequel n'est sujet à corruption, lequel je crois être la chaleur du soleil, car tout autre feu ou chaleur est sujet à nourriture; la seconde espèce de feu est le matériel, lequel est dit ainsi, à cause qu'il est nourri et maintenu de matière corporelle, laquelle matière venant à faillir, faut aussi la chaleur, quant à ce qu'il est dit lumineux, c'est à cause du soleil qui est la vraie lumière naturelle, et mesmement la lumière artificielle procède du feu matériel...; et quant à la violence du feu, la plus grande procède du feu matériel, chacun sait le dommage qu'il fait où il se met, soit par accident ou entreprise délibérée. En Sicile, le feu s'est

mis dedans la cavité du mont Gibella, autrement dit Ætna, lequel brûle il y a fort longtemps, toutefois, il y apparence que ce feu prendra fin, quand toute la matière sulfurée qui l'entretient finira; la violence aussi de plusieurs inventions de machines de guerre est admirable, lesquelles se font avec la poudre à canon; ainsi le feu matériel nous sert aussi bien à faire du mal comme à faire du bien, et quant au feu élémentaire, il y a aucunes machines en ce livre, lesquelles ont mouvement par le moyen d'iceluy, comme l'élévation des eaux dormantes et autres machines suivantes icelles non démontrées par cy-devant. »

Après cette singulière définition du feu, qui peut donner une juste idée de la force de ses raisonnements et de ses vues, Salomon de Caus passe à la définition de l'air.



« L'air, dit-il, est un élément froid, sec et léger, lequel se peut presser et se rendre fort violent... L'air est aussi dit léger, car quelque quantité qu'il y ait d'air dans un vaisseau, il n'en sera plus pesant; et quant à ce qui est dit ici qu'il se peut presser, j'en donnerai ici un exemple : Soit un vaisseau de plomb ou cuivre bien clos et soudé tout à l'entour, marqué A, auquel il y aura un tuyau marqué BC, duquel le bout C approchera près du fond dudit vaisseau d'environ un pouce, et au bout B, il y a un petit récipient

(entonnoir) pour recevoir l'eau, laquelle verserez dans ledit récipient, et de là descendra au vaisseau, et d'autant que l'air qui est au dedans ledit vaisseau ne peut sortir, et qu'il faut qu'il y ait quelque place, on ne pourra emplir ledit vaisseau, et si le tuyau BC est haut de dix ou douze pieds, il y entrera environ jusques au tiers d'eau, tellement que l'air se pressant, causera une compression, et fera même enfler le vaisseau, s'il n'est fort épais, ce qui démontre que l'air se presse, et que cette compression fait violence, comme il se pourra voir en diverses machines en ce livre, mais la violence sera grande quand l'eau s'exhale en air par le moyen du feu et que ledit air est enclos, comme, par exemple, soit une balle (ballon) de cuivre d'un pied ou deux de diamètre, et épaisse d'un pouce, laquelle sera remplie d'eau par un petit trou, lequel sera bouché bien fort après avec un clou, en sorte que l'eau ni l'air n'en puissent sortir; il est certain que si l'on met ladite balle sur un grand feu, en sorte qu'elle devienne fort chaude, qu'il se fera une *compression si violente* que la balle crèvera en pièces, avec bruit semblable à un petart. »

La lecture du texte original de Salomon de Caus suffit pour rectifier l'interprétation inexacte que l'on a faite de ce passage. On voit que la première expérience qu'il rapporte n'a d'autre but que de démontrer la compressibilité de l'air et de manifester l'un des effets auxquels donne naissance l'air comprimé. L'air condensé par l'afflux de l'eau, dans l'espace AC, s'oppose par sa pression à ce que l'eau vienne occuper la capacité entière du vase. La seconde expérience n'est destinée qu'à montrer les effets de la compres-

sion de l'*air échauffé* et non de la vapeur, comme on l'a si souvent avancé. Salomon de Caus nous apprend que, par l'effet de la pression de l'eau *exhalée en air,* un ballon de cuivre peut éclater en mille pièces. Cette phrase : « *La violence sera grande quand l'eau s'exhale en air par le moyen du feu,* » si souvent invoquée en faveur de Salomon de Caus, prouve seulement qu'il connaissait le fait vulgaire d'un vase métallique rempli d'eau, hermétiquement bouché, et qui éclate par l'action de la chaleur. Mais ce fait était depuis longtemps connu, on le trouve cité dans plusieurs écrits des alchimistes, et Salomon de Caus se borne à le reproduire, sans se douter de la véritable cause du phénomène; il n'y voit autre chose que l'effet de l'air engendré par la chaleur et agissant sur l'eau dans un espace fermé.

Après ces définitions, Salomon de Caus passe à l'exposition de divers théorèmes. Le premier est ainsi formulé : « *Les parties des éléments se mêlent ensemble pour un temps, puis chacun retourne à son lieu.* » L'auteur rappelle d'abord que tous les corps de la nature sont « composés et mixtionnés d'éléments,... comme, par exemple, le bois et toute autre chose que la terre procure sont mixtionnés de sec et de l'humide. » Dans le développement de ce théorème, qui est loin d'être toujours intelligible, l'auteur se propose de montrer qu'après la décomposition des corps par l'action de la chaleur, chacun des ses éléments *retourne en son lieu,* « comme, par exemple, le bois se détruit par le moyen de la chaleur, l'humidité s'évapore en haut, par extraction que fait la chaleur. Laquelle vapeur, venant à monter avec la chaleur jus-

qu'à la moyenne région, se quittent l'un l'autre, puis chacun retourne en son lieu, l'humidité retombant sur la terre, qui est ce que nous appelons pluie. » Il donne à l'appui de ce fait une expérience confusément exposée, qui ne saurait réussir telle qu'il l'indique, et qui prouve qu'une certaine quantité d'eau évaporée par la chaleur *retourne en eau* en produisant la même quantité de liquide [1].

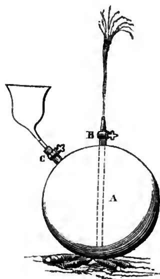
Le théorème II des *Raisons des forces mouvantes* est consacré à discuter le principe du plein universel thème favori de la physique du moyen âge. Il est ainsi conçu : « *Il n'y a rien à nous cogneu de vide.* »

Dans les théorèmes suivants, l'auteur arrive aux divers moyens pour « *élever l'eau plus haut que son niveau.* » Les quatre moyens que Salomon de Caus indique comme propres à élever l'eau, sont : 1° le siphon, dans lequel l'eau monte d'abord au-dessus de

[1] Il ne faudrait pas conclure de l'emploi du mot *vapeur* par l'auteur des *Raisons des forces mouvantes,* qu'il possédât des notions exactes sur la vaporisation des liquides. Le terme de vapeur existait dans le langage, parce qu'il représentait une forme de la matière depuis longtemps observée, mais la nature du phénomène qui donne naissance aux vapeurs était inconnue à cette époque. La théorie de la vaporisation, entièrement ignorée au temps de Salomon de Caus, fut encore un mystère plus d'un siècle après lui. Pendant tout le XVII[e] siècle on continua de confondre avec l'air atmosphérique les vapeurs qui se dégagent pendant l'ébullition des liquides. Salomon de Caus avait des idées si inexactes à cet égard, que, dans le théorème dont nous parlons, il prétend que la vapeur d'eau est plus légère que la vapeur de mercure, parce que cette dernière se condense sur la vaisselle dorée, tandis que la vapeur d'eau continue de s'élever dans l'air.

son niveau dans la branche ascendante, pour s'écouler plus bas que son niveau dans la branche descendante; 2° la capillarité des tissus de laine ou de coton; 3° la compression de l'air comme dans la fontaine de Héron, *laquelle*, dit-il, *est une invention fort gentille et subtile;* 4° la vis d'Archimède « *de quoi parle Diodore, Sicilien, et dit qu'Égypte a été asséchée par la vis d'Archimède; Vitruve aussi en fait mention, comme aussi fait Cardan, et dit qu'un de Rubeis, Milanais, pensant être le premier inventeur de cette machine, en devint fou de joie.* »

Voici enfin le dernier moyen d'élever l'eau, sur lequel on a fait reposer la gloire de Salomon de Caus :



« L'eau montera, par aide du feu, plus haut que son niveau.

« Le troisième moyen de faire monter l'eau est par l'aide du feu, dont il se peut faire diverses machines; j'en donnerai ici la démonstration d'une. Soit une balle de cuivre marquée A, bien soudée tout à l'entour, à laquelle il y aura un soupirail marqué C, par où l'on mettra l'eau, et aussi un tuyau marqué AB, qui sera soudé en haut de la balle, et dont le bout approchera près du fond sans y toucher, après, faut emplir ladite balle d'eau par le soupirail, puis le bien reboucher et le mettre sur le feu : alors la chaleur

donnant contre ladite balle fera monter toute l'eau par le tuyau AB [1].»

Tel est l'appareil qui, selon M. Arago, « est une véritable machine à vapeur propre à opérer des épuisements [2]. » Malgré notre juste déférence pour les décisions de l'illustre secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, il nous est impossible de partager son opinion. L'appareil décrit par Salomon de Caus ne peut servir qu'à l'*épuisement* de l'eau contenue dans le ballon A. Pour en élever davantage, il faudrait qu'il existât un moyen d'introduire dans ce ballon une nouvelle quantité d'eau après la sortie de la première. L'auteur ne donne aucune indication sous ce rapport ; il dit formellement, au contraire, qu'il faut « remplir ladite balle par le soupirail C, puis le *bien reboucher.* » Sans doute si l'on ajoutait au robinet C un tube plongeant dans un réservoir d'eau froide, le vide se faisant dans l'intérieur du ballon par l'effet de la sortie du liquide, appellerait, par aspiration, une quantité d'eau à peu près égale à celle qui a disparu, et celle-ci s'élèverait à son tour après s'être échauffée. On obtiendrait de cette manière une sorte d'appareil intermittent qui pourrait servir à opérer l'épuisement d'une certaine masse d'eau, à la condition toutefois d'élever l'eau chaude et d'en vaporiser une quantité considérable. Mais Salomon de Caus ne propose rien de semblable, et la raison en est bien simple : c'est qu'il ne songeait nullement à construire une machine. Le petit

[1] *Les raisons des forces mouvantes*, 1615, p. 4.

[2] *Notice sur la machine à vapeur* (*Annuaire du bureau des longitudes*, 1837, p. 236).

appareil qu'il décrit est un objet de pure démonstration, une simple expérience de physique; c'est dans l'article consacré aux théorèmes et non dans le chapitre des machines, que se trouve sa description. Aussi lorsque M. Arago nous parle plus loin d'un ouvrier qui, dans la machine de Salomon de Caus, est chargé de remplacer l'eau expulsée, en ouvrant un orifice qui s'ouvre et se ferme à volonté [1], il est permis de dire que l'illustre écrivain prête à Salomon de Caus une pensée qui n'entra jamais dans son esprit. Si Salomon de Caus avait voulu présenter cet appareil comme une machine de son invention, il n'eût pas manqué de donner à sa description tous les développements nécessaires. Il nous fait connaître, en effet, dans la suite de son ouvrage, diverses petites machines qu'il a inventées, entre autres, *une machine fort subtile par laquelle on pourra faire élever une eau dormante au moyen des rayons solaires;* il ne manque pas alors de décrire minutieusement le mécanisme de son appareil, la situation des soupapes, la disposition des tubes, le nombre des bassins et des citernes; en un mot, tout ce qui intéresse le jeu de sa machine.

M. Arago, revenant dans son *Eloge de Watt* sur l'ouvrage de Salomon de Caus, a dit : « Je ne saurais accorder que celui-là n'ait rien fait d'utile, qui, réfléchissant sur l'énorme ressort de la vapeur d'eau for-

[1] « Dans la machine de Salomon de Caus, dès que la pression de la vapeur a produit son effet, un ouvrier remplace l'eau expulsée à l'aide d'un orifice situé à la partie supérieure de la sphère métallique et qui s'ouvre ou se ferme à volonté. » (*Notice sur la machine à vapeur, Annuaire du bureau des longitudes,* 1837, p. 256.)

tement échauffée, vit le premier qu'elle pourrait servir à élever de grandes masses de ce liquide à toutes les hauteurs imaginables. Je ne puis admettre qu'il ne soit dû aucun souvenir à l'ingénieur qui, le premier aussi, décrivit une machine propre à réaliser de pareils effets... L'appareil de Salomon de Caus, cette enveloppe métallique où l'on crée une force motrice presque indéfinie à l'aide d'un fagot et d'une allumette, figurera toujours noblement dans l'histoire de la machine à vapeur[1]. » Nous avons fait connaître les idées inexactes professées par Salomon de Caus et par tous les physiciens de son temps sur le phénomène de la vaporisation des liquides; il nous semble donc difficile qu'il ait jamais pu réfléchir « sur l'énorme ressort de la vapeur d'eau fortement échauffée. » Entre la phrase si simple de Salomon de Caus : « la chaleur donnant contre ladite balle fait monter l'eau par le tuyau AB, » et cet « énorme ressort de la vapeur d'eau, » il y a un intervalle assez difficile à combler. Quant « à élever de grandes masses de liquide à toutes les hauteurs imaginables, » il nous semble que c'est encore ajouter beaucoup à la pensée de l'auteur, qui ne parle que de faire monter l'eau au-dessus de son niveau, hauteur que l'on peut s'imaginer sans trop de peine.

Il ne sera pas inutile de faire remarquer, en passant, que la découverte de ce nouveau moyen d'élever l'eau était loin d'appartenir à Salomon de Caus. Dans une traduction italienne de l'ouvrage latin du physicien napolitain Porta, *Pneumaticorum libri tres*,

[1] *Annuaire du bureau des longitudes*, 1839, p. 285.

publiée à Naples en 1601, on trouve la description d'un petit appareil qui a pour but de déterminer en combien de parties d'air peut se transformer une partie d'eau (*Per sapere una parte di acqua in quanto di aria si risolve*). Porta détermine en combien de parties d'air se transforme une partie d'eau, en se servant de la pression qu'exerce de la vapeur d'eau sur de l'eau liquide contenue dans un petit réservoir. Or, ce moyen d'élever l'eau en exerçant sur elle une pression par l'effet de la chaleur, Porta est loin de le décrire comme une invention qui lui appartienne. Il était, en effet, connu bien longtemps avant lui, et dans l'ouvrage de Héron on trouve plus de vingt appareils fondés sur ce principe, dont la cause seulement échappait aux physiciens de cette époque. Aussi Porta est-il loin de s'attribuer la première observation de ce fait; il le prend dans le courant des opinions communes, et le présente avec simplicité, comme un moyen d'établir par l'expérience une vérité qu'il recherche. On ne peut donc admettre, avec M. Arago, que Salomon de Caus ait fait le premier une observation de ce genre.

Nous ne pouvons admettre davantage que l'architecte normand ait eu la pensée de présenter son appareil comme créant « une force motrice presque indéfinie. » Salomon de Caus est bien loin d'élever des prétentions aussi hautes. Le petit appareil qu'il fait connaître, il le met sur la ligne du siphon, de la fontaine de Héron et même des tissus humectés. Que pensez-vous des effets mécaniques d'une machine destinée à rivaliser avec la capillarité des tissus! Certes, si Salomon de Caus avait eu le projet qu'on

lui prête, s'il avait voulu présenter son appareil comme susceptible de créer une force applicable aux travaux de l'industrie, le lieu était bien choisi de le déclarer nettement dans un livre sur les forces mouvantes. S'il avait eu quelque pensée de ce genre, il n'eût pas manqué de s'en exprimer clairement et formellement : il eût ainsi évité aux historiens les épineux commentaires où il les a contraints de s'engager.

Ainsi Salomon de Caus trouva dans la science de son temps la notion vague, imparfaite et confuse des effets mécaniques de la vapeur d'eau, effets que l'on n'avait pas encore réussi à distinguer de ceux de l'air échauffé. Il signala ce fait dans l'un de ses écrits sans y ajouter plus d'importance qu'on ne le faisait à son époque, et sans songer un instant à l'appliquer à la construction d'une machine motrice utile à l'industrie.

Ce qui prouve qu'il n'ajoutait rien aux idées scientifiques de son temps, c'est que son ouvrage ne produisit aucune impression sur l'esprit de ses contemporains. Consulté seulement par quelques personnes de sa profession, le livre de l'architecte normand, qui traite au même titre des forces mouvantes, du dessin des grottes et fontaines et de la fabrication des orgues, occupa fort peu les physiciens. Le jésuite Gaspard Schott est le seul qui, dans un ouvrage imprimé en 1657, sous le titre *Mechanica hydraulico-pneumatica*, fasse mention du nom et de l'ouvrage de Salomon de Caus. Aucun autre auteur de son siècle n'a parlé de cet appareil, et son parent, Isaac de Caus, qui écrivit, quelques années après lui, un traité sur les moyens d'élever les eaux, ne cite pas même l'ouvrage de son

homonyme. Nous sommes donc contraint de rejeter l'opinion universellement répandue qui fait de Salomon de Caus un savant du premier ordre qui, par la force de son génie, sut deviner et construire, il y a deux siècles, la machine à vapeur. Nous sera-t-il permis d'ajouter, par forme de conclusion, qu'il serait bon, dans l'histoire des sciences, de se montrer sobre de ces types romanesques d'hommes de génie qui devancent leur époque, et qui tout d'un coup font briller la lumière aux yeux de leurs contemporains, plongés dans la nuit de l'ignorance et des préjugés? Rarement un savant devance son époque. Appliquer les notions acquises de son temps, en déduire toutes les conséquences qu'elles renferment, cette tâche suffit à occuper son génie. Raisonner autrement, c'est introduire la fantaisie dans le domaine de l'histoire; c'est donner une idée fausse de la marche ordinaire de l'esprit humain et des lois qui président à l'évolution de nos découvertes; c'est enfin placer les esprits sur une pente dangereuse. En effet, quand un savant, raisonnant de bonne foi, a contribué à répandre dans le public un de ces préjugés scientifiques, ce faux germe jeté dans la foule ignorante ne tarde pas à porter ses fruits. On ne se fait pas scrupule de renchérir sur la donnée primitive, et sur la trame de cet épisode enjolivé de l'histoire scientifique on se met à broder sans façon un chapitre de roman. En ce qui touche Salomon de Caus, cette conséquence ne s'est pas fait attendre. En 1834, quelques années après la publication de la notice de M. Arago, le *Musée des familles* publia une prétendue lettre datée du 3 février 1641, adressée par Marion Delorme à Cinq-Mars. Cette

femme trop célèbre raconte dans cette épître les détails d'une visite qu'elle a fait à Bicêtre, en compagnie du marquis de Worcester. Pendant leur visite aux aliénés de Bicêtre, Marion Delorme et le marquis aperçoivent, à travers les barreaux de son cabanon, un homme réduit à l'état de folie furieuse, qui ne cesse de crier à tous les visiteurs qu'il a fait une découverte admirable consistant à faire marcher les voitures et les manéges par la seule force de l'eau bouillante. Le marquis de Worcester s'extasie sur l'infortune et sur le génie de cet homme, et Marion écrit le tout à Cinq-Mars en style badin :

« Suivant le désir que vous m'en avez exprimé, dit Marion, je fais les honneurs de Paris à votre lord anglais, le marquis de Worcester, et je le promène, ou plutôt il me promène de curiosités en curiosités, témoin la visite que nous sommes allés faire à Bicêtre, et où il prétend avoir découvert dans un fou un homme de génie. Comme nous traversions la cour des fous, un homme se montre derrière de gros barreaux, et se met à crier : — Je ne suis pas fou ; j'ai fait une découverte qui enrichira le pays qui voudra la mettre à exécution. — Et qu'est-ce que sa découverte? dis-je à celui qui nous montrait la maison. — Ah! dit-il, en haussant les épaules, quelque chose de bien simple et que vous ne devineriez jamais : c'est l'emploi de l'eau bouillante. Je me mis à rire. — Cet homme, reprit le gardien, s'appelle Salomon de Caus. Il est venu de Normandie, il y a quatre ans, pour présenter au roi un mémoire sur les effets merveilleux de la vapeur. Le cardinal renvoya ce fou sans l'écouter. Salomon de Caus, au lieu de se décourager, se mit à

suivre partout monseigneur le cardinal, qui, las de le trouver sans cesse sur ses pas, et importuné de ses folies, ordonna de l'enfermer à Bicêtre, où il est depuis trois ans et demi. Il crie à chaque étranger qu'il n'est point un fou, et qu'il a fait une découverte admirable. — Menez-moi près de lui, dit lord Worcester; je veux l'interroger. On l'y conduisit, mais il revint triste et pensif. — Maintenant il est bien fou, dit-il; le malheur et la captivité ont altéré à jamais sa raison. Vous l'avez rendu fou; mais quand vous l'avez jeté dans ce cachot, vous y avez jeté le plus grand génie de votre époque; et dans mon pays, au lieu de l'enfermer, on l'aurait comblé d'honneurs et de richesses. »

Cette pièce, fabriquée par un mystificateur hardi, eut un succès prodigieux, et l'on ne manqua pas de dire que le marquis de Worcester, à qui ses compatriotes attribuent la découverte de la machine à vapeur, en avait puisé l'idée dans sa conversation avec le fou de Bicêtre. On pouvait cependant élever contre l'authenticité de cet écrit quelques objections qui ne manquent pas de solidité. On pouvait faire remarquer, entre autres choses, que Salomon de Caus, mort en 1630, aurait pu difficilement être renfermé en 1641 dans un hôpital de fous; — que Bicêtre était alors une commanderie de Saint-Louis, où l'on donnait asile à d'anciens militaires, et non un hôpital; — que Salomon de Caus n'avait jamais pensé à construire une machine utilisant les effets mécaniques de la vapeur; — enfin qu'il n'avait jamais reçu que de bons offices de la part de Richelieu, puisque dans la dédicace de son livre, *La practique et démonstration des*

horloges, il exprime sa reconnaissance pour les bontés du cardinal. Mais le public n'y regarde pas de si près, et bien des gens ne renoncent pas sans douleur à la bonne fortune historique d'un homme de génie mourant à l'hôpital. Un sujet si bien trouvé revenait de droit aux œuvres de l'imagination et de l'art. Tout Paris a vu à l'une des expositions du Louvre un tableau de l'un de nos peintres, M. Lecurieux, dans lequel Salomon de Caus, enfermé à Bicêtre, est représenté les yeux caves et la barbe hérissée, tendant les mains, à travers les barreaux de sa prison, au couple brillant de Marion Delorme et du marquis; la lithographie et la gravure ont consacré à l'envi ce préjugé historique, le roman l'a exploité, de telle sorte que l'architecte normand tient aujourd'hui sa place à côté de Galilée et de Christophe Colomb sur la liste des hommes de génie persécutés et méconnus.

CHAPITRE III.

Le Père Leurechon. — Branca. — L'évêque Wilkins. — Le Père Kircher. — Le marquis de Worcester.

On a vu dans le précédent chapitre que, pendant la période qui nous occupe, les physiciens ne possédaient sur la vaporisation des liquides que quelques notions confuses, viciées par une interprétation théorique des plus inexactes, consistant à rapporter à l'air échauffé la plupart des phénomènes qui proviennent du ressort de la vapeur. Les faibles effets méca-

niques que l'observation vulgaire avait révélés concernant la force élastique de la vapeur d'eau n'étaient alors l'objet que d'applications insignifiantes ou ridicules. Si quelques doutes pouvaient subsister sur ce point, les faits qu'il nous reste à présenter seraient de nature à les dissiper.

Le Père Leurechon, jésuite lorrain, a publié en 1626, sous le titre de *Récréations mathématiques*, un ouvrage souvent réimprimé depuis, et qui donne un reflet fidèle de l'état des connaissances physiques et mécaniques au XVIIe siècle. Le petit appareil connu sous le nom d'*éolipyle* fixait beaucoup l'attention des physiciens de l'époque. Le Père Leurechon va nous montrer quelles applications on imaginait alors d'en tirer.

« Les éolipyles, dit le Père Leurechon (problème 75), sont des vases d'airain, ou autre semblable matière qui puisse endurer le feu ; ils ont un petit trou fort étroit par lequel on les emplit d'eau, puis on les met devant le feu, et jusqu'à ce qu'il s'échauffent on n'en voit aucun effet ; mais aussitôt que le chaud les pénètre, l'eau, venant à se raréfier, sort avec un sifflement impétueux et puissant à merveille... Quelques-uns font mettre dans ces soufflets un tuyau courbé à divers plis et replis, afin que le vent, qui roule avec impétuosité par dedans, imite le bruit d'un tonnerre. D'autres se contentent d'un simple tuyau dressé à plomb, un peu évasé par le haut, pour y mettre une petite boule qui sautille par-dessus fait à fait que les vapeurs sont poussées dehors. Finalement, quelques-uns appliquent auprès du trou des moulinets ou choses semblables, qui tournevirent par le mouvement des va-

peurs, ou bien, par le moyen de deux ou trois tuyaux recourbés en dehors, font tourner une boule. »

Ces moulinets, ou choses semblables qui tournevirent par le mouvement des vapeurs, nous allons les retrouver chez d'autres physiciens du XVIIe siècle : les applications puériles que l'on fait alors des propriétés de la vapeur d'eau montreront suffisamment quel rôle jouaient, dans la science de cette époque, les notions relatives à la vapeur.

Giovanni Branca, architecte de l'église de Lorette, savant très-peu connu et qui n'a laissé que quelques ouvrages sur l'architecture et la mécanique, a publié à Rome, en 1629, sous le titre *Le machine*, un recueil des principales machines connues de son temps. Branca n'est point l'inventeur des machines qu'il décrit; c'est seulement à la prière de ses amis qu'il fait, dit-il, cette publication, car il ne connaît point les noms des auteurs des différents appareils dessinés dans son ouvrage. L'une des machines décrites par Giovanni Branca est un éolipyle ainsi composé : le buste d'une statue métallique creuse est placé sur un brasier; un trou qui se ferme à vis sert à introduire de l'eau dans ce buste; un tube adapté à sa bouche lance la vapeur contre les augets d'une roue horizontale. Celle-ci, au moyen d'une roue dentée, met en action deux pilons : « ces pilons, dit Branca, broieront de la *poudre* ou toute autre matière que l'on voudra [1]. »

J'imagine que cet appareil était destiné à broyer *toute autre matière*, car l'existence d'un foyer à quelques pas de la poudre n'aurait pas été marquée au

[1] *Le machine* del signor G. Branca, p. 24.

coin d'une prudence excessive. « Je n'ai pas encore deviné, dit M. Arago, en parlant de l'appareil de Branca, d'après quelles analogies on a pu voir dans cet éolipyle le premier germe de la machine à vapeur employée de nos jours. » La liaison serait en effet difficile à saisir. Le principe de la machine à vapeur moderne repose sur la force élastique de la vapeur d'eau contenue dans un espace fermé; ici il s'agit, au contraire, du simple effet d'impulsion que produit un courant de vapeur. Un courant d'air chassé par un soufflet, et dirigé contre les augets de la roue aurait produit un effet tout semblable. Cette assimilation est tellement fondée que Branca décrit, dans une autre partie de son livre, une machine analogue à la précédente, dans laquelle seulement l'action de la vapeur est remplacée par celle de l'air chaud. Une roue à augets, placée au sommet du tuyau d'une cheminée en activité, tourne par l'effet du courant d'air échauffé qui s'élève du foyer; divers engrenages communiquent le mouvement de cette roue à un laminoir qui transforme des lames de métal en médailles ou en pièces de monnaie [1].

Cette insignifiante application de l'éolipyle, faite par l'architecte romain, est cependant revendiquée

[1] Au XVIe siècle, Cardan avait décrit une machine à peu près semblable sous le nom de *machine à fumée*. Elle était formée de feuilles de tôle taillées à peu près comme des ailes de moulin et disposées de la même manière autour d'un axe mobile; on la plaçait horizontalement dans le tuyau d'une cheminée. On attribuait à la fumée le principe d'action de cette machine, mais Cardan remarque avec raison que la flamme semble plutôt contribuer à ses effets.

par Robert Stuart en faveur de l'un de ses compatriotes. « L'ingénieux et savant évêque Wilkins est le premier auteur anglais, dit Robert Stuart, qui parle de la possibilité de faire mouvoir des machines par la force élastique de la vapeur[1]. » Jean Wilkins, beau-frère de Cromwell et évêque de Chester, qui, malgré ses travaux de théologie, s'était rendu habile dans les sciences physiques et mathématiques, a publié sous le titre de ***Mathematical magick***, un ouvrage où il dit quelques mots de l'éolipyle. « On peut, dit l'évêque de Chester, employer les éolipyles de diverses manières, soit comme amusement, soit pour enfler et pousser des voiles attachées à une roue placée dans le coin d'une cheminée, au moyen de laquelle on peut faire tourner un tournebroche. »

Robert Stuart nous a déjà parlé d'un éolipyle appliqué au XVIe siècle à faire marcher un tournebroche. Il paraît qu'à cette époque l'emploi mécanique de la vapeur d'eau ne pouvait s'élever encore au-dessus de cet engin de cuisine.

Ainsi jusqu'à la période à laquelle nous sommes parvenus, on connaît vaguement quelques-uns des effets mécaniques que peut exercer la vapeur d'eau. Mais là s'arrêtent toutes les notions. Les applications de ce fait sont à peu près nulles, car on ne s'en sert que pour la démonstration de principes erronés ou pour faire manœuvrer des jouets d'enfant. Quant à la théorie du phénomène, on continue d'admettre à cet égard l'erreur de l'ancienne physique, c'est-à-dire la transformation de l'eau en air par le fait de la cha-

[1] *Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 35.

leur. Nous avons vu Porta, Salomon de Caus et le Père Leurechon professer cette théorie; le Père Kircher va la formuler pour nous d'une manière encore plus explicite.

Le Père Kircher, dont l'esprit fécond et l'imagination active s'exerçaient sur toutes les branches de la science de son époque, a publié à Rome, en 1641, un ouvrage intitulé : *Magnes, sive de magnetica arte,* dans lequel il décrit plusieurs de ces appareils curieux qu'il aime tant à faire connaître. L'un de ces appareils est un vase métallique allongé contenant de l'eau à sa partie inférieure. Cette eau étant portée à l'ébullition, la vapeur s'introduit, à l'aide d'un tube, dans un vase supérieur, et par le fait de la pression qu'elle exerce sur de l'eau contenue dans ce vase, elle fait jaillir celle-ci par un ajutage. Rien de plus simple, on le voit, que le mécanisme de cet appareil. Or, voici comment le P. Kircher nous rend compte de ses effets :

« L'appareil étant ainsi préparé, si vous voulez qu'il chasse le liquide à une grande hauteur *par la force du feu*, placez le vase sur le feu après l'avoir rempli d'eau. *L'air de ce vase*, comprimé par la raréfaction et ne trouvant d'issue que par le tube, y passera avec violence et tentera de s'échapper dans le vase supérieur. Mais comme une autre liqueur occupe ce vase supérieur, maintenu dans un espace qu'il ne peut franchir, il entreprend une lutte terrible avec l'eau : il faut donc, ou que le vase soit rompu, ou que l'eau cède. Et comme cela est plus facile, l'eau, cédant enfin à *l'effort violent de l'air raréfié*, s'élancera dans l'air avec une grande impétuosité par le tube, et

fournira un coup d'œil agréable aux spectateurs. »

Ainsi le jeu de ce petit appareil, qui ne fonctionne que par la pression de la vapeur d'eau, était rapporté par Kircher à la seule action de l'air dilaté par la chaleur. On peut juger par là de la nature des idées théoriques qui régnaient chez les physiciens du XVIIe siècle touchant le phénomène de la vaporisation des liquides.

Nous ne nous sommes guère attaché depuis le commencement de cette étude qu'à combattre les opinions communément admises sur l'origine de la machine à vapeur. Cependant nous n'en avons pas fini sur ce point, car nous n'avons rien dit encore de l'opinion qui rapporte cette découverte au marquis de Worcester.

Ce n'est pas un fait médiocrement curieux que l'obstination avec laquelle l'Angleterre persiste depuis plus d'un siècle à attribuer au marquis de Worcester la première idée des applications mécaniques de la vapeur. Interrogez au hasard un citoyen de la Grande-Bretagne, dans l'atelier, dans la chaumière, dans le club, partout on vous dira que la machine à feu a été inventée par le marquis de Worcester qui vivait au temps de Cromwell. Aucun auteur anglais ne saurait écrire dix lignes sur ce sujet sans adresser en passant son hommage au noble inventeur. Les nombreux écrivains qui, dans des ouvrages spéciaux ou les encyclopédies, se sont occupés de ce sujet, tels que le docteur Robison, le docteur Rees, MM. Millington, Nicholson, Lardner, Alderson, Tredgold et Thomas Young, sont unanimes sur ce point; presque tous prennent comme point de départ de l'histoire de la machine à vapeur les travaux de Worcester. M. Par-

dington, de l'Institution de Londres, dans une édition qu'il a donnée en 1825 de l'ouvrage du marquis, décide que « Worcester est le premier qui ait découvert un moyen d'appliquer la vapeur comme agent mécanique; invention qui suffirait seule pour immortaliser le siècle dans lequel il vivait. » C'est en vain que M. Arago, donnant un corps à l'évidence, a fait justice, dans sa célèbre notice,des prétendus droits de Worcester; les ouvrages anglais écrits postérieurement au travail de l'illustre académicien, reproduisent imperturbablement la même assertion, et les auteurs d'un ouvrage important récemment publié par une société de mécaniciens anglais (*Artisan club*), répètent avec assurance : « C'est sans aucun doute à la conception du marquis de Worcester qu'il faut rapporter l'origine des machines à vapeur susceptibles d'application. »

Pour justifier tant de ténacité dans la défense d'une opinion historique, il faut que les témoignages qui l'appuient soient d'une force peu commune. Voyons sur quels documents on la fonde.

Le marquis de Worcester publia à Londres, en 1663, un ouvrage intitulé : *Century of inventions*, etc. (*Catalogue descriptif des noms de toutes les inventions que je puis me rappeler avoir faites ou perfectionnées, ayant perdu mes premières notes.*) Ce livre, d'un style des plus obscurs, contient de très-courtes descriptions et quelquefois la simple annonce de cent machines, inventions ou découvertes que l'auteur s'attribue. Il s'exprime ainsi dans sa soixante-huitième invention :

« J'ai inventé un moyen aussi admirable que puis-

sant pour élever l'eau par le moyen du feu, non pas avec le secours de la pompe, parce que celle-ci n'agit, selon l'expression des philosophes, que *intrà spheram activitatis*, qui a très-peu d'étendue; au contraire, cette nouvelle puissance n'a pas de bornes, si le vase est assez fort. J'ai pris, par exemple, une pièce de canon dont le bout était brisé. J'en ai rempli les trois quarts d'eau, j'ai bouché ensuite, et fermé à l'aide de vis le bout cassé ainsi que la lumière, et fait continuellement du feu sous le canon : au bout de vingt-quatre heures il éclata avec un grand bruit. *De sorte* qu'ayant trouvé une manière de construire mes vases au moyen de laquelle ils se fortifient les uns les autres [1], et de les remplir l'un après l'autre, j'ai vu l'eau jaillir comme un jet continuel à quarante pieds de haut. Un vase d'eau raréfié par le feu en fait monter quarante d'eau froide. L'homme qui surveille le jeu de la machine n'a qu'à tourner deux robinets, afin qu'un vase d'eau étant épuisé, l'autre commence à forcer et à se remplir d'eau froide, et ainsi de suite, le feu étant constamment alimenté et soutenu, ce qu'une même personne peut faire aisément dans l'intervalle de temps où elle n'est pas occupée à tourner les robinets. »

Le lecteur attend sans doute la suite de cet imbroglio; mais cet imbroglio n'a pas de suite, et les lignes précédentes renferment tout ce que le marquis de

[1] M. Arago traduit autrement ce passage; voici sa version : « Ayant alors trouvé le moyen de former des vases de telle manière qu'ils sont consolidés par la force intérieure. » Au reste, le texte original est ainsi conçu : « Having a way to make my vessels so that they are *strengthened by the force within them*. »

Worcester a jamais écrit sur les applications mécaniques de la vapeur. Maintenant, que l'on veuille bien peser avec soin tous les termes de cette description et que l'on décide si l'on peut y trouver, nous ne disons pas l'idée de la machine à vapeur, mais seulement un sens raisonnable. Tout ce qu'il est permis de comprendre à ce logogriphe, c'est que l'auteur a reconnu par expérience qu'une pièce de canon remplie d'eau et hermétiquement bouchée peut éclater par l'action prolongée de la chaleur. Ce fait, sans portée scientifique, était depuis longtemps connu [1]. Quant à la description de la machine, elle est de tout point inintelligible. Les savants et les mécaniciens anglais ont mis leur esprit à la torture pour représenter par le dessin un appareil réunissant les conditions indiquées dans l'ouvrage de Worcester; mais ils n'ont pu le faire qu'en y introduisant des éléments d'origine moderne, et toutes les machines que l'on a ainsi péniblement reconstruites pour donner quelque vraisemblance aux

[1] M. Delécluze a fait connaître, en 1841, dans le journal l'*Artiste*, un croquis assez informe retrouvé dans les manuscrits de Léonard de Vinci, représentant un instrument que l'illustre peintre de la renaissance désigne sous le nom d'*architonnerre*. Cet appareil était fondé sur les propriétés explosives de la vapeur d'eau comprimée. On reconnait. en effet, en examinant avec soin ses dispositions, que la vapeur n'y pouvait agir qu'en le faisant éclater en mille pièces. M. Delécluze a vu dans cet instrument un véritable *canon à vapeur* et l'a décrit comme tel. L'habile critique des *Débats* nous permettra de ne pas accepter son interprétation; l'architonnerre ne pouvait servir à chasser un boulet, mais simplement à tuer, par suite de son explosion inévitable, l'imprudent qui aurait essayé de l'employer.

assertions du marquis, ont cela de fort curieux, que pas une d'elles ne ressemble à l'autre. Comment en effet tirer quelque chose de raisonnable d'une description faite en quatre lignes, et où tout se réduit à dire : « un des vases étant épuisé, l'autre commence à *forcer et à se remplir d'eau froide.* » De tels documents ne se discutent pas; il suffit de les citer.

Malgré le parti pris des écrivains anglais en ce qui touche les droits de leur compatriote, il s'est rencontré parmi eux un savant assez ami de la vérité et du bon sens pour rendre à l'évidence un hommage d'autant plus louable qu'il n'a rencontré jusqu'ici que peu d'imitateurs. Robert Stuart, dans son *Histoire descriptive de la machine à vapeur,* s'exprime ainsi au sujet du marquis de Worcester :

« Le plus célèbre de tous ceux qui ont associé leurs noms à l'histoire de la machine à vapeur dans son enfance, est un marquis de Worcester, qui vivait sous le règne de Charles II. Cette célébrité paraîtra fort extraordinaire, si l'on se rappelle d'un côté le dédain avec lequel on accueillit de son vivant ses prétentions extravagantes à l'honneur de plusieurs découvertes, la brièveté étudiée, le vague et l'obscurité qu'il a mis dans les descriptions des machines sur lesquelles il fondait ses titres de gloire et ses demandes d'encouragement; et de l'autre, en voyant cet hommage éclatant que notre siècle a décerné à son génie mécanique, hommage qui paraît être autant au-dessus de son mérite réel que l'injuste indifférence de ses contemporains était au-dessous de son talent.

« Ses droits, comme inventeur, ne reposent au reste que sur le compte qu'il rend lui-même de l'*uti-*

lité et des *merveilleuses propriétés* de ses inventions; c'est donc sur la réputation de loyauté et de sincérité du marquis que nous devons mesurer la confiance que méritent ses propres assertions. Mais cette réputation, si l'esquisse qu'un contemporain a tracée du marquis ressemble à l'original, ne nous permet pas de croire un seul mot des explications mensongères consignées dans l'ouvrage intitulé : *Century of inventions.* « Le marquis de Worcester, dit Walpole, s'est « montré sous deux caractères bien différents; savoir, « comme homme public et comme auteur. Comme « homme public, c'était un homme de parti ardent; et « comme auteur, c'était un mécanicien original et fer« tile en projets chimériques; mais il était de bonne « foi dans ses erreurs. Ayant été envoyé par le roi en « Irlande, pour négocier avec les catholiques révoltés, « il dépassa ses instructions et leur en substitua de « son fait, que le roi désavoua, mais toutefois en le « mettant à l'abri des conséquences fâcheuses que « pouvait avoir son infidélité. Le roi, avec toute son « affection pour le comte (il était alors comte de Gla« morgan), rappelle dans deux de ses lettres son dé« faut de jugement. Peut-être Sa Majesté aimait-elle « à se confier à son indiscrétion, car le comte en avait « une forte dose. Nous le voyons prêter serment sur « serment au nonce du pape, avec promesse d'une « obéissance illimitée à Sa Sainteté et à son légat; « nous le voyons ensuite demander cinq cents livres « sterling au clergé d'Irlande, pour qu'il puisse s'em« barquer et aller chercher une somme de cinquante « mille livres sterling, comme ferait un alchimiste qui « demande une petite somme pour procurer le secret

« de faire de l'or. Dans une autre lettre, il promet « deux cent mille couronnes, dix mille armements de « fantassins, deux mille caisses de pistolets, huit « cents barils de poudre, et trente ou quarante bâ- « timents bien équipés; et tout cela, au dire d'un « contemporain, lorsqu'il n'avait pas un sou dans sa « bourse, ni assez de poudre pour tirer un coup de « fusil[1]. »

Tel est le personnage auquel on veut faire jouer le rôle d'inventeur de la machine à feu. Il est difficile qu'au milieu des événements de sa carrière agitée il ait trouvé des loisirs à consacrer à l'étude des sciences. Ses écrits concernant la mécanique se bornent à son petit livre *Century of inventions*. Nous n'avons rien à dire en effet d'un autre ouvrage qu'il publia sous le titre de *An exact and true definition*, etc. (*Définition vraie et exacte de la plus étonnante machine hydraulique inventée par le très-honorable Edouard Somerset*,

[1] Robert Stuart va jusqu'à mettre en doute la réalité des inventions du marquis. « S'il est vrai, dit cet historien, que le marquis ait jamais fait des expériences sur l'élasticité de la vapeur (car il est permis de mettre en doute l'explication du canon), ou ait tenté de mettre à exécution son projet, en construisant une machine, il est vrai de dire qu'il ne reste aucune trace ni de ses expériences, ni de son appareil : aussi il est plus raisonnable de révoquer en doute les travaux dont il se glorifie. La clause de l'acte du parlement par laquelle on lui accorde le privilége de son monopole fortifie singulièrement notre soupçon, et lui donne presque un caractère de certitude; car il y est expressément dit (et cette clause prouve que le procédé était tout nouveau) que le brevet a été délivré au marquis sur sa *simple affirmation* qu'il était l'auteur de la découverte. Il n'est pas vraisemblable qu'on eût motivé ainsi son brevet, s'il eût eu une machine à montrer ou une expérience à rapporter. »

lord-marquis de Worcester, digne d'être loué et admiré, présenté par Sa Seigneurie à Sa Majesté Charles II, notre très-gracieux souverain.) Cette *définition vraie et exacte* n'est consacrée qu'à l'énumération des usages extraordinaires de son *admirable méthode d'élever l'eau par le moyen du feu.* L'ouvrage ne contient pas une ligne relative à la description de l'appareil; tout se réduit à une exposition emphatique des services qu'il peut rendre. On y trouve ensuite un acte du parlement qui accorde au marquis le privilége de sa machine, quatre mauvais vers de sa façon en l'honneur de sa découverte, puis le *exegi monumentum* d'Horace, le tout glorieusement terminé par quelques vers latins et anglais à la louange du noble inventeur, dus à la plume de James Rollock, vieil admirateur de Sa Seigneurie.

Il est assez curieux de connaître la circonstance qui a donné aux savants anglais l'étrange idée d'attribuer l'invention de la machine à feu au nébuleux auteur du *Century of inventions.* Voici, si nous ne nous trompons, quelle en fut l'origine. Au commencement du XVIIIe siècle, lorsque furent construites les premières machines à vapeur qui aient fonctionné en Europe, des discussions assez vives s'élevèrent entre plusieurs mécaniciens qui réclamaient la priorité de l'invention. Le capitaine Savery qui, comme nous le verrons, a construit la première machine à vapeur qu'ait employée l'industrie, voulait s'attribuer l'honneur tout entier de cette découverte. Denis Papin, informé de ses prétentions, écrivit aussitôt pour établir ses droits de priorité : l'illustre physicien vivait alors en Allemagne; son refus d'abjurer la religion réformée lui

interdisait l'entrée de la France. Il y avait alors à Orléans un savant abbé, nommé Jean de Hautefeuille, grand amateur de mécanique, et qui nous est connu par quelques travaux sur lesquels nous reviendrons. Le pieux abbé ne put supporter la pensée de voir décerner à un hérétique l'honneur d'une si importante découverte, et dans sa *Lettre à M. Bourdelot,* il contesta les droits de Papin [1]. Ce fut alors que les Anglais, entrant dans la querelle, produisirent l'ouvrage, jusque-là inaperçu ou méprisé, du marquis de Worcester. Cette intervention, qui semblait mettre les parties d'accord, termina le débat, et la victoire resta acquise au génie britannique. Mais on le voit, le zèle de l'abbé de Hautefeuille avait été bien mal inspiré, car le marquis de Worcester, en sa qualité d'Anglais, était tout aussi hérétique que Papin; ainsi l'abbé de Hautefeuille n'avait rien fait gagner à la religion, et du même coup il avait dépossédé sa patrie de la gloire légitime qui lui revenait.

CHAPITRE IV.

Création de la physique moderne. — Découvertes de Torricelli et de Pascal. — Expérience de Périer sur le Puy-de-Dôme. — Invention de la machine pneumatique. — Application de ces découvertes à la création d'un moteur universel.

Cependant le moment approchait où les vagues et confuses notions de la physique du moyen âge allaient

[1] *Lettre de M. de Hautefeuille à M. Bourdelot, premier médecin de madame la duchesse de Bouillon, sur le moyen de perfectionner l'ouïe,* 1702, p. 14.

faire place à une science positive. L'institution de la physique moderne date, avons-nous vu, de la mort de Galilée. On aurait dit que les sciences n'attendaient que la mort de l'illustre philosophe pour prendre l'essor qu'elles devaient à son génie. La découverte du baromètre par Torricelli et Pascal marqua le premier pas de la physique naissante. Comme cette grande découverte se lie de la manière la plus étroite à celle de la machine à vapeur, ou plutôt comme la machine à feu proposée par Denis Papin en 1690 n'est que la conséquence et l'application des faits mis en lumière par suite de l'invention du baromètre, nous devons rappeler la série de circonstances qui amenèrent les physiciens du XVII[e] siècle à découvrir les effets de la pression atmosphérique.

En 1630, le doux et modeste Torricelli, qui, comme Pascal, devait mourir à trente-neuf ans, étudiait les mathématiques à Rome, et manifestait les dispositions brillantes qui devaient le placer bientôt au rang des premiers géomètres de son époque. Il se lia intimement avec Castelli, le disciple chéri de Galilée. Castelli retira le plus grand profit, pour ses travaux, des conseils du jeune mathématicien romain, et en retour il communiqua à son ami les découvertes et les vues scientifiques de Galilée. C'est ainsi que Torricelli fut amené à connaître le fait qui devait donner naissance entre ses mains à la découverte du baromètre.

Les fontainiers du grand-duc de Florence avaient construit, pour amener l'eau dans le palais ducal, des pompes aspirantes dont le tuyau dépassait quarante pieds de hauteur : quand on voulut les mettre en jeu, l'eau refusa de s'élever jusqu'à l'extrémité du tuyau.

Galilée, consulté sur ce fait, mesura la hauteur à laquelle s'arrêtait la colonne d'eau, et il la trouva d'environ trente-deux pieds. Il apprit alors des ouvriers employés à ce travail que ce phénomène était constant, et que l'eau ne pouvait jamais s'élever, dans les pompes aspirantes, à une hauteur supérieure à trente-deux pieds. L'ascension de l'eau dans les pompes s'expliquait alors par le principe de l'*horreur du vide*, axiome célèbre de la scolastique : la nature, disait-on, n'admettait que le plein, et comme elle ne pouvait souffrir le vide qui se serait trouvé entre le piston soulevé et le niveau de l'eau, celle-ci était forcée de le suivre dans son ascension. Sans rejeter entièrement l'opinion des physiciens de son temps, Galilée crut pouvoir expliquer le fait en disant que la longueur d'une colonne d'eau de trente-deux pieds produisait un poids trop considérable pour que la base de la colonne liquide pût le supporter. Il comparait ce phénomène à celui que présente une corde horizontale tendue à ses deux extrémités, et qui, à une certaine longueur finit par se rompre, parce qu'elle ne peut plus supporter son propre poids [1].

Torricelli, méditant sur ce fait, soupçonna que la pression de l'atmosphère agissant sur la surface du liquide pouvait être la cause de l'ascension de l'eau dans le tuyau des pompes. Pour vérifier cette conjecture par l'expérience, il essaya de reproduire le même phénomène en employant un liquide plus pesant que l'eau. Comme le mercure présente une densité environ quatorze fois supérieure à celle de l'eau, la théorie

[1] *Dialogi di Galileo.* (*Opera di Galileo Galilei*, t. II, p. 489.)

indiquait que la pression de l'air pourrait seulement tenir en équilibre une colonne de mercure à une hauteur quatorze fois moindre, c'est-à-dire à vingt-huit pouces. Il remplit donc de mercure un tube de verre de trois pieds de long, fermé à l'une de ses extrémités, boucha avec le doigt son extrémité inférieure, et plongea le tube ainsi préparé dans une cuvette pleine de mercure; retirant alors le doigt, il vit le mercure descendre en partie dans l'intérieur du tube, et après quelques oscillations rester suspendu en équilibre à la hauteur de vingt-huit pouces au-dessus du niveau du mercure de la cuvette, c'est-à-dire précisément à la hauteur indiquée par la théorie. Telle fut la célèbre expérience qui fut désignée depuis ce moment sous le nom d'*expérience du vide.*

Aux yeux de Torricelli, elle établissait clairement le phénomène de la pesanteur de l'air. Cependant la démonstration était trop indirecte pour convaincre des esprits trop peu familiarisés encore avec les lois et les conséquences de l'observation. Les physiciens s'occupèrent avec beaucoup de curiosité et d'intérêt de cet espace vide existant entre le sommet du tube et l'extrémité de la colonne de mercure; on désigna cet espace sous le nom de *vide de Torricelli.* Mais l'explication du fait de l'équilibre du mercure par la pesanteur de l'air rencontra des résistances opiniâtres; les esprits les plus éclairés de l'époque éprouvaient la plus vive répugnance à abandonner l'ancienne opinion des écoles touchant le plein universel.

En 1646, le Père Mersenne, religieux de l'ordre des Minimes, le condisciple et l'ami de Descartes, parcourait l'Europe pour rassembler sur les sciences de son

époque des renseignements précis qu'il se hâtait de communiquer au reste des savants. Il eut connaissance à Rome de l'expérience de Torricelli et il en apporta la nouvelle en France. M. Petit, intendant des fortifications de Rouen, avait appris du Père Mersenne lui-même les détails de l'expérience de Torricelli; il se hâta d'en informer Blaise Pascal, qui se trouvait alors auprès de son père, intendant des finances de la ville de Rouen. M. Petit et Blaise Pascal répétèrent ensemble l'expérience du physicien romain, et c'est ainsi que Pascal fut amené à entreprendre les recherches dont il publia les résultats sous le titre de *Nouvelles expériences touchant le vuide*. La plus célèbre et la plus curieuse de ces expériences est celle dans laquelle Pascal, remplissant de vin rouge un tuyau de verre de quarante-six pieds de longueur, fermé à l'un de ses bouts, le renverse dans un baquet plein d'eau, et voit le liquide coloré se maintenir en équilibre à une hauteur de trente-deux pieds, variant ainsi l'expérience de Torricelli, et rendant en même temps plus manifeste le fait observé par les fontainiers de Florence. Mais si l'on veut connaître exactement l'état de la physique au milieu du XVIIe siècle, et apprécier sous son vrai jour cette période de l'histoire des sciences, sur laquelle on n'a guère écrit jusqu'à ce moment que pour la dénaturer, il faut savoir comment Pascal lui-même interprétait ce phénomène. Pascal, alors dans toute la force et dans tout l'éclat de son génie, n'hésite pas à expliquer par le vieil axiome de l'horreur du vide tous les faits que l'expérience lui révèle. Il admet et il croit démontrer que la nature a horreur du vide; il ajoute seulement que

cette horreur est limitée, et qu'elle se mesure par le poids d'une colonne d'eau d'environ trente-deux pieds de hauteur [1].

L'agression de Pascal contre les principes de l'école était, comme on le voit, bien timide; cependant elle souleva des tempêtes dans le monde philosophique. Un jésuite, le Père Étienne Noël, crut devoir prendre en main la défense des saines doctrines. Il écrivit à ce sujet une longue lettre que l'on trouve dans le recueil des œuvres de Pascal, et dont nous recommandons la lecture aux personnes qui désirent se faire une juste idée de la nature des obstacles que la physique eut à combattre à ses débuts.

Pascal repoussa, par une *Réponse* accablante, les arguments de son antagoniste. Mais le jésuite ne se tint pas pour battu et il répliqua par un traité en forme, sous ce singulier titre : *Le plein du vuide*. Dans la dédicace de ce lourd factum, adressée au prince de Conti, le Père Noël représente la nature comme injustement accusée d'un tort qui ne lui appartient pas; il se constitue son défenseur et porte la parole en son nom : « La nature, dit-il, est aujourd'hui accusée de vuide et j'entreprends de l'en justifier en présence de *Votre Altesse :* elle en avoit bien été auparavant soupçonnée; mais personne n'avoit encore eu la hardiesse de mettre ses soupçons en fait, et de lui confronter les sens et l'expérience. Je fais voir ici son intégrité, et montre la fausseté des faits dont elle est

[1] « La force de cette inclination est limitée et toujours égale à celle avec laquelle l'eau d'une certaine hauteur, qui est environ de trente et un pieds, tend à couler en bas. » (*Œuvres de Blaise Pascal*, 1779, t. IV, p. 67.)

chargée, et les impostures des témoins qu'on lui oppose. Si elle étoit connue de chacun comme elle l'est de Votre Altesse à qui elle a découvert tous ses secrets, elle n'auroit été accusée de personne, et on se seroit bien gardé de lui faire un procès sur de fausses dépositions, et sur des expériences mal reconnues et encore plus mal avérées. Elle espère, Monseigneur, que vous lui ferez justice de toutes ces calomnies. » Après cette figure délicate, le Père Noël entre dans son sujet où nous n'aurons garde de le suivre. Contentons-nous de dire qu'il attribue la suspension du mercure dans le tube de Torricelli à une qualité qu'il prête de son chef au mercure, et qu'il nomme la *légèreté mouvante*[1].

Par suite de ses discussions avec le Père Noël, Pascal avait été conduit à réfléchir plus profondément sur la cause de l'ascension et de l'équilibre du mercure dans les tubes fermés. Sur ces entrefaites, il fut informé de l'opinion de Torricelli qui n'hésitait pas à attribuer ce phénomène à la pression de l'air. Une expérience qu'il désigne sous le nom du *vuide dans le vuide*, et dans laquelle il vit le mercure suspendu dans l'intérieur d'un tube s'élever ou s'abaisser selon qu'il faisait varier la pression de l'air extérieur, donna à ses yeux une force nouvelle aux vues du physicien romain. Enfin un trait de son génie lui révéla le moyen de résoudre ce grand problème. Pascal pensa que, pour trancher sans retour la difficulté qui divisait les savants, il suffirait d'observer la hauteur du mercure

[1] Voyez, à ce sujet, la réponse de Pascal dans sa *Lettre à M. le Pailleur* (*Œuvres de Pascal*, t. IV, p. 156).

dans le tube de Torricelli, au pied et sur le sommet d'une montagne : si la hauteur de la colonne de mercure était moindre au sommet qu'au bas de la montagne, la pression de l'air serait positivement démontrée, car l'air diminue de masse dans les hautes régions, tandis que l'on ne peut admettre que la nature ait de l'horreur pour le vide au pied d'une montagne et le souffre à son sommet. Le Puy-de-Dôme, élevé de 500 toises, et placé aux portes d'une grande ville, lui parut merveilleusement propre à cet important essai; mais retenu à Paris par une foule d'autres soins, il ne pouvait songer à l'exécuter lui-même; heureusement son beau-frère Périer, conseiller à la cour des aides d'Auvergne, se trouvait alors à Moulins; il avait assisté aux expériences faites à Rouen, et il possédait assez de connaissances scientifiques pour que l'on pût se reposer sur lui du soin de procéder à cette vérification avec toute la précision nécessaire. Le 15 novembre 1647, Pascal écrivit donc à Périer pour réclamer de lui ce service.

Périer reçut à Moulins la lettre de son beau-frère. Ses occupations de conseiller à la cour des aides le retinrent longtemps dans cette ville, il ne put se rendre à Clermont que dans l'hiver de l'année suivante. Mais pendant toute la durée du printemps et de l'été, le sommet du Puy-de-Dôme resta enveloppé de brouillards ou couvert de neiges qui en empêchaient l'accès; il ne se dégagea entièrement que dans les premiers jours de septembre.

Le 20 septembre, à cinq heures du matin, le temps paraissait beau et la cime du Puy-de-Dôme se montrait à découvert : Périer résolut d'exécuter ce jour-là

l'expérience depuis si longtemps méditée. Il fit avertir aussitôt les personnes qui devaient l'accompagner, et à huit heures du matin tout le monde se trouvait réuni dans le jardin du couvent des Minimes : le Père Bannier, ancien supérieur de l'ordre; le Père Mosnier, chanoine de l'église cathédrale de Clermont; La Ville et Begon, conseillers à la cour des aides; et Laporte, médecin de Clermont, furent les témoins et les acteurs de cette expédition mémorable.

Périer prit deux tubes de verre, longs de quatre pieds et fermés par un bout; il les remplit de mercure et fit l'*expérience du vide*, c'est-à-dire les renversa sur un bain de mercure. Il marqua avec la pointe d'un diamant la hauteur occupée dans le tube par la colonne métallique au-dessus du niveau du réservoir; cette hauteur, plusieurs fois vérifiée, était, dans les deux tubes, de vingt-six pouces trois lignes et demie. L'un de ces tubes fut fixé à demeure et laissé en expérience; le Père Chastin, un des religieux de la maison, fut chargé de le surveiller et d'y observer la hauteur du mercure pendant toute la journée. La compagnie quitta alors le couvent, emportant le second tube, et l'on commença à dix heures à gravir la montagne. On atteignit au milieu de la journée son sommet le plus élevé. Arrivé là, Périer répéta l'*expérience du vide* telle qu'il l'avait exécutée le matin dans le jardin des Minimes, et il s'empressa de mesurer l'élévation du mercure au-dessus du réservoir : le liquide, qui, au pied de la montagne, s'élevait à vingt-six pouces trois lignes et demie, ne s'élevait plus qu'à vingt-trois pouces deux lignes; il y avait donc trois pouces une ligne et demie de différence entre

les deux mesures prises à la base et au sommet du Puy-de-Dôme.

Quand ils furent revenus de la surprise et de la joie que leur faisait éprouver une aussi éclatante confirmation des prévisions de la théorie, les expérimentateurs s'empressèrent de répéter l'observation en variant les circonstances extérieures. On mesura cinq fois la hauteur du mercure : tantôt à découvert, dans un lieu exposé au vent, tantôt à l'abri, sous le toit de la petite chapelle qui se trouve au plus haut de la montagne, une fois par le beau temps, une autre fois pendant la pluie, ou au milieu des brouillards qui venaient de temps en temps visiter ces sommets déserts; le mercure marquait partout vingt-trois pouces deux lignes.

On se mit alors à redescendre. Arrivé vers le milieu de la montagne, Périer jugea utile de répéter l'observation, afin de reconnaître si la colonne de mercure décroissait proportionnellement avec la hauteur des lieux. L'expérience donna le résultat prévu : le mercure s'élevait à vingt-cinq pouces, mesure supérieure d'un pouce dix lignes à celle qu'on avait prise sur le haut du Puy-de-Dôme, et inférieure d'un pouce trois lignes à l'observation prise à Clermont-Ferrand. Périer fit deux fois la même épreuve, qui fut répétée une troisième fois par le Père Mosnier : ainsi le niveau du mercure s'abaissait selon les hauteurs.

Les heureux expérimentateurs étaient de retour au couvent avant la fin de la journée. Ils trouvèrent le Père Chastin continuant d'observer son appareil. Le patient religieux leur apprit que la colonne de mercure n'avait pas varié une seule fois depuis le matin.

Comme dernière confirmation, Périer remit en expérience l'appareil même qu'il rapportait du Puy-de-Dôme : le mercure s'y élevait comme le matin à la hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie.

Le lendemain, le Père de La Mare, théologal de l'église cathédrale, qui avait assisté la veille à tout ce qui s'était passé dans le couvent des Minimes, proposa à Périer de répéter l'expérience au pied et sur le faîte de la plus haute des tours de l'église Notre-Dame à Clermont. On trouva une différence de deux lignes entre les deux mesures prises à la base et au sommet de la tour. Enfin, en déterminant comparativement la hauteur du mercure dans le jardin des Minimes, situé dans une des positions les plus basses de la ville, et sur le point le plus élevé de la même tour, on constata une différence de deux lignes et demie.

Périer s'empressa d'informer son beau-frère du grand résultat que l'expérience venait de lui fournir; Pascal en reçut la nouvelle avec une joie facile à comprendre. D'après la relation de Périer, une différence de vingt toises d'élévation dans l'air suffisait pour produire, dans la colonne de mercure, un abaissement de deux lignes. Pascal pensa, d'après cela, qu'il serait facile de répéter l'expérience à Paris. Il l'exécuta en effet sur la tour Saint-Jacques-la-Boucherie, haute de vingt-cinq toises. Il trouva entre la hauteur du mercure, au bas et au sommet de cette tour, une différence de plus de deux lignes. Dans une maison particulière, dont l'escalier avait quatre-vingt-dix marches, il prit la même mesure dans la cave et sur les toits; il put reconnaître ainsi un abaissement de demi-ligne.

Ainsi, les prévisions de Pascal étaient confirmées dans toute leur étendue; la maxime de l'horreur du vide n'était plus qu'une chimère condamnée par l'expérience, et un horizon nouveau s'offrait à l'avenir des sciences physiques. La découverte de la pesanteur de l'air et la mesure de ses variations à l'aide du tube de Torricelli devinrent en effet le point de départ et l'origine des grands travaux qui devaient élever la physique sur les bases positives où elle repose aujourd'hui. Le tube de Torricelli, dont Pascal venait de faire un admirable moyen de mesurer la pression atmosphérique, apporta aux observateurs un secours de la plus haute importance, en ce qu'il permit de soumettre au calcul et de ramener à des conditions comparables un grand nombre de phénomènes naturels qu'il importait d'étudier. Pascal ne manqua pas de saisir toute la portée du principe fondamental qu'il venait de mettre en lumière, et le fait de la pression que l'air atmosphérique exerce sur tous les corps qui nous environnent lui permit d'expliquer plusieurs phénomènes physiques dont la cause s'était dérobée jusque-là à toute interprétation. L'ascension de l'eau dans les pompes, le jeu du siphon, et divers autres faits particuliers du même ordre, reçurent de lui l'explication la plus nette et la mieux fondée.

La découverte de la pesanteur de l'air produisit parmi les savants l'impression la plus vive; les partisans de l'opinion du plein universel furent réduits au silence. Cependant il manquait encore quelque chose à la démonstration complète de l'existence du vide et de la pesanteur de l'air. En montrant qu'une colonne de mercure est tenue en équilibre, dans un tube vide

par le poids de l'atmosphère, on ne prouvait la pesanteur de l'air que d'une manière indirecte, et ce moyen ne pouvait servir d'ailleurs pour peser un volume d'air déterminé. Il fallait, pour achever la démonstration, donner aux physiciens les moyens de peser un vase tantôt plein, tantôt vide d'air. Aussi les savants s'occupèrent-ils dès ce moment avec beaucoup d'ardeur à combiner quelque instrument susceptible de produire le vide dans un espace clos.

C'est à un physicien de Magdebourg, Otto de Guericke, conseiller de l'électeur Frédéric-Guillaume et bourgmestre de la ville de Magdebourg, qu'était réservée la gloire de découvrir l'important appareil que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de *machine pneumatique*.

La machine pneumatique n'a été imaginée et construite par Otto de Guericke qu'après une série de tâtonnements et d'essais à peu près ignorés de nos jours et qu'il n'est pas cependant sans intérêt de connaître. Pour obtenir un espace entièrement vide d'air, le physicien de Magdebourg essaya d'abord de se servir d'un tonneau rempli d'eau et fermé de toutes parts. Après avoir appliqué à sa partie inférieure le tuyau d'une pompe à incendie, il commença à faire jouer la pompe; mais avant que l'eau fût entièrement évacuée, les cercles de fer qui reliaient les douves du tonneau s'étaient rompus sous l'effort de la pression atmosphérique. Otto de Guericke arma alors le tonneau de cercles beaucoup plus forts, et trois hommes vigoureux furent employés à faire agir la pompe. Mais à mesure que l'eau était expulsée, un léger sifflement se faisait entendre : l'air s'introduisait à travers les

pores du bois. Force fut de chercher un nouveau moyen. Otto de Guericke eut alors l'idée d'enfermer un tonneau rempli d'eau et de petite dimension, dans un autre plus grand et également plein d'eau; le tuyau de la pompe aspirante venait s'appliquer à l'orifice du petit tonneau intérieur en traversant le tonneau extérieur. On fit alors jouer la pompe. Aucun accident ne vint contrarier l'expérience; mais à la fin de la journée et lorsque l'eau se trouvait évacuée presque tout entière, on entendit un gargouillement qui annonçait le passage de l'air à travers la substance des deux tonneaux. Ce bruit persista trois jours, et lorsque, au bout de ce temps, on retira le tonneau intérieur pour l'examiner, on le trouva à moitié rempli du liquide qui s'était fait jour à travers ses parois.

L'insuffisance des vases de bois pour obtenir un espace vide d'air étant ainsi reconnue, Otto de Guericke eut recours à des vases métalliques. Il fit préparer une sphère de cuivre d'une assez grande capacité, armée d'un robinet à sa partie supérieure et portant à sa partie inférieure un orifice destiné à recevoir le tuyau de la pompe. Il se dispensa pour cette fois de remplir d'eau le vase, espérant que la pompe aspirerait l'air comme elle avait fait l'eau. Dans les premiers moments la pompe jouait avec facilité ; mais à mesure que l'air était chassé, il fallait, pour soulever le piston, des efforts de plus en plus considérables, et c'est à peine si deux hommes vigoureux pouvaient suffire à ce travail. L'opération était assez avancée et la plus grande partie de l'air se trouvait chassée du globe métallique, lorsque tout à coup, et au grand effroi des assistants, le vase éclata avec

grand bruit et se brisa « comme si on l'eût jeté avec violence du haut d'une tour [1]. » Otto de Guericke saisit avec beaucoup de sagacité la cause de cet accident : l'ouvrier avait négligé de donner au vase de cuivre une forme parfaitement sphérique dans toutes ses parties ; or la forme sphérique est la seule qui puisse garantir un récipient vide d'air des effets de la pression considérable que le poids de l'air extérieur exerce sur lui dans tous les sens. Un nouvel appareil ayant été construit avec les soins nécessaires, l'expérience reprise eut un succès complet et l'air fut en totalité expulsé sans autre accident du récipient métallique. Mais l'opacité du métal eût dérobé aux yeux les expériences auxquelles on destinait la machine; Otto remplaça donc la sphère de cuivre par un ballon de verre qui s'ajustait à la pompe aspirante par une garniture de cuivre. En définitive, la machine à laquelle il s'arrêta, et que l'on trouve encore dans les anciens cabinets de physique, présentait la forme suivante : un ballon de verre muni d'une tubulure et d'un robinet de cuivre est vissé sur le tuyau d'une petite pompe aspirante placée verticalement au-dessous de lui; une manivelle à bras horizontal sert à faire jouer la pompe; tout l'appareil est supporté par un montant formé de trois pieds de fer.

Cette machine était imparfaite à bien des égards; son inconvénient principal tenait à la forme du récipient, qui ne permettait point d'y introduire des corps

[1] *Vel ac si globus ab altissima turre lapsu graviore projectus fuisset.* (*Ottonis de Guericke experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio*, p. 75.)

d'un certain volume. Elle suffit néanmoins à l'ingénieux physicien de Magdebourg pour démontrer une série de vérités qui jetèrent sur les faits physiques les plus utiles lumières. Otto de Guericke démontra matériellement le poids de l'air atmosphérique, en pesant un vase dans lequel le vide avait été fait au moyen de sa machine, et en le pesant de nouveau après la rentrée de l'air. Poursuivant la voie ouverte par Pascal, il expliqua, par le fait de la pression atmosphérique et par l'élasticité de l'air, un grand nombre de faits qui jusque-là avaient paru inexplicables. Il mit hors de doute, par exemple, l'influence de l'air sur la propagation du son, son rôle dans la translation de la lumière, dans les phénomènes de la combustion, de la respiration et de la vie des animaux.

Mais de tous les faits remarquables dont le bourgmestre de Magdebourg enrichissait la physique naissante, aucuns n'excitèrent d'étonnement plus vif ni d'admiration plus méritée que la série d'effets mécaniques véritablement extraordinaires auxquels il donna naissance en mettant adroitement en jeu la pression atmosphérique. L'expérience connue sous le nom des *hémisphères de Magdebourg* attira l'attention de tout le monde savant, autant par l'originalité et la beauté du fait en lui-même, que par l'importance des résultats mécaniques qu'elle laissait entrevoir. Cette expérience est si généralement connue, que c'est à peine s'il est nécessaire de la rappeler. On sait qu'Otto de Guericke, ayant préparé deux demi-sphères de cuivre réunies l'une à l'autre par l'interposition d'un cuir mouillé, opéra le vide dans l'intérieur de cette sphère à l'aide de sa machine

pneumatique. L'air une fois chassé de l'intérieur du globe, les deux demi-sphères se trouvaient pressées l'une contre l'autre par tout le poids de la colonne atmosphérique qu'elles supportaient, et cette pression était si considérable, qu'elles résistaient à toutes les forces employées pour les désunir. Le premier appareil de ce genre, construit par Otto de Guericke, avait un diamètre de trois quarts d'aune de Magdebourg. Il fit atteler à deux anneaux fixés à chacun des hémisphères seize chevaux qui, tirant horizontalement en sens contraire, ne purent vaincre la résistance que l'air opposait à leur séparation. Le même appareil, suspendu au plafond d'une chambre, supportait un poids de 2,686 livres. On construisit ensuite une autre sphère d'une aune de diamètre; l'effort de vingt-quatre chevaux ne put rompre l'adhérence de ses deux parties : les hémisphères supportaient, sans se séparer, un poids de 5,400 livres.

Otto de Guericke varia de cent manières cette curieuse démonstration de la pesanteur de l'air et de ses effets mécaniques. En 1654, pendant son séjour à Ratisbonne, où l'appelait son emploi de conseiller de l'électeur de Brandebourg, il exécuta devant le prince de Auerberg, envoyé de l'empereur, une expérience des plus remarquables sous ce rapport. Il vissa à un cylindre métallique le récipient de verre de sa machine pneumatique, dans lequel on avait fait préalablement le vide. Dans l'intérieur du cylindre jouait un piston auquel était attachée par un anneau une corde s'enroulant sur une poulie : vingt personnes étaient employées à retenir la corde. Tout ainsi disposé, Otto de Guericke ouvrit subitement le robinet du

ballon; l'air contenu dans le cylindre se précipita aussitôt dans l'intérieur du ballon vide pour en remplir la capacité, et dès lors la pression atmosphérique qui s'exerçait sur la tête du piston, n'étant plus contre-balancée sur sa face inférieure, précipita aussitôt le piston jusqu'au fond du cylindre avec tant de violence que les vingt personnes qui retenaient la corde se trouvèrent soulevées en l'air à plusieurs pieds de hauteur.

Ce n'était pas sans raison que tous les savants de l'Europe suivaient avec un intérêt et une curiosité extraordinaires les expériences qui s'exécutaient en Allemagne sur les étonnants effets de la pression atmosphérique; ce n'est pas sans motifs non plus que nous les avons rappelées avec quelques détails. Par l'effet de la transformation sociale qui, depuis un siècle, était en train de s'accomplir, l'industrie commençait chez tous les peuples à prendre son essor. Cependant l'âme manquait au grand corps qui s'organisait : l'industrie n'avait point de moteur ou n'avait que des moteurs insuffisants. La force des hommes et des chevaux, la puissance des vents, l'action des torrents et des cours d'eau, insuffisantes dans bien des cas sous le rapport de l'intensité motrice, faisaient défaut dans beaucoup de localités, ou ne pouvaient s'appliquer commodément et avec économie aux besoins de l'industrie. Or, quand on se rappelait que, d'après les découvertes de Pascal, chaque centimètre carré (pour employer les mesures de nos jours) de la surface de tous les corps placés sur la terre, supporte, par l'effet de la pression atmosphérique, un poids équivalent à 1 kilogramme, et quand on voyait Otto de

Guericke apporter le moyen pratique d'anéantir, à un moment donné, la résistance qui s'oppose à la manifestation de cette force, on ne pouvait s'empêcher d'espérer une application prochaine de ce remarquable fait. Presque tous les physiciens de l'époque étaient frappés de la grandeur et de l'avenir de cette idée, et tout annonçait qu'il y avait dans les expériences du bourgmestre de Magdebourg l'origine d'une révolution capitale dans les moyens de l'industrie.

Lorsque, par le progrès des temps, les sciences ont amassé un certain nombre de faits théoriques susceptibles de s'appliquer utilement aux besoins des hommes, il est rare que quelque grand esprit n'apparaisse pas au moment nécessaire pour tirer de ces notions générales les conséquences qu'elles renferment, et pour hâter l'instant où l'humanité doit être mise en possession de ces biens nouveaux. L'homme de génie qui devait féconder pour l'avenir l'ensemble des belles découvertes dont le récit vient de nous occuper ne se fit pas attendre : il était Français, et s'appelait Denis Papin.

CHAPITRE V.

Denis Papin. — Sa vie et ses travaux.

Papin naquit à Blois, le 22 août 1647, d'une famille considérée dans le pays, et qui appartenait à la religion réformée. Il était fils d'un médecin et avait pour

parent Nicolas Papin, autre médecin connu par quelques ouvrages scientifiques. On ne sait rien sur son enfance ni sur les événements de sa jeunesse; il paraît seulement qu'il avait ressenti de bonne heure un goût très-vif pour les sciences mathématiques. L'éducation publique était alors, dans la ville de Blois, entre les mains des jésuites, qui, comme on le sait, donnaient à cette époque une assez grande part à l'étude des sciences. Les protestants fréquentaient quelquefois les écoles des jésuites : Papin dut recevoir chez eux ses premières leçons de mathématiques. Il fit à Paris ses études médicales; cependant ce n'est pas dans cette université qu'il reçut son grade de docteur, car son nom ne figure pas sur la liste des gradués de la Faculté de Paris, publiée en 1752, et qui comprend les noms de tous les docteurs, à partir de l'année 1539. Orléans possédait une université; il est donc probable que ce fut dans la capitale de sa province que Denis Papin alla recevoir son grade. Quoi qu'il en soit, on le trouve à l'âge de vingt-quatre ans établi à Paris pour y exercer sa profession. Mais son inclination naturelle pour les sciences physiques lui rendait sans doute plus aride le pénible sentier de la carrière médicale; il ne tarda pas à tourner exclusivement son esprit vers les travaux de physique expérimentale et de mécanique appliquée. Il avait rencontré quelques protecteurs puissants qui favorisaient son goût pour ce genre de recherches. « J'avois alors, nous dit-il lui-même, l'honneur de vivre à la bibliothèque du roi et d'aider M. Huygens dans un grand nombre de ses expériences. J'avois beaucoup à faire touchant la machine pour appliquer la poudre à canon

à lever des poids considérables, et j'en fis l'essai moi-même quand on la présenta à M. de Colbert [1]. » Le célèbre Huygens, l'inventeur des horloges à pendule, habitait alors notre capitale, pendant que son père, Constantin Huygens, gentilhomme hollandais, s'y occupait de diplomatie. Il avait consenti à se fixer en France, sur les instances de Colbert, qui en fondant l'Académie des sciences l'avait inscrit l'un des premiers sur la liste de ses membres. Pour décider le savant hollandais à résider en France, Colbert lui faisait une forte pension, et lui avait accordé un logement à la bibliothèque royale. Papin prêtait son aide à Huygens pour ses expériences de mécanique, et partageait son logement. Il avait dû cette position avantageuse à la protection de madame Colbert, femme d'un grand mérite, originaire de Blois, et à laquelle, selon Bernier, « une infinité de gens de ce pays devoient leur fortune [2]. »

Papin publia son premier ouvrage à Paris, en 1674, sous ce titre : *Nouvelles expériences du vuide, avec la description des machines qui servent à les faire.* Ce petit écrit, qui n'existe plus de nos jours, contenait la description de certaines modifications de faible importance apportées à la machine du bourgmestre de Magdebourg [3]. Les *Nouvelles expériences du vuide*

[1] *Acta eruditorum Lipsiæ*, septemb. 1688.

[2] *Histoire de Blois*, 1682. Épître-dédicace.

[3] Les modifications apportées par Denis Papin à la machine pneumatique d'Otto de Guericke se trouvent reproduites dans un article de lui imprimé dans les *Actes de Leipsik*, au mois de juin 1687, sous ce titre : *Augmenta quædam et experimenta nova circa antliam pneumaticam, facta partim in Anglia, partim in Italia.*

furent accueillies avec faveur. M. Hublin, célèbre emailleur du roi et ami particulier de Papin, présenta l'ouvrage à l'Académie des sciences et le *Journal des savants* le signala avec éloges.

La carrière s'ouvrait donc pour le jeune physicien sous les plus heureux auspices. Le petit nombre d'hommes instruits qui se trouvaient alors dans la capitale tenaient dans la plus grande estime sa personne et ses talents, et le *Journal des savants*, dispensateur de la considération et de la fortune scientifiques, l'accueillait avec faveur. Cependant, une année après, nous voyons Papin quitter subitement la France pour passer en Angleterre. Quel motif pouvait le porter à abandonner sa patrie? Avait-il encouru la disgrâce de Colbert? Obéissait-il simplement à cette humeur un peu vagabonde qui le fit désigner par un de ses contemporains sous le nom de *philosophe cosmopolite?* On l'ignore. Les historiens et les auteurs de mémoires de la fin du XVIIe siècle, tout entiers au récit des intrigues de cour ou des sanglants épisodes de nos guerres, n'ont pas une ligne à consacrer à ces esprits d'élite qui employaient tous les moments de leur laborieuse existence à préparer à l'humanité des destinées meilleures, et qui souvent ne recevaient en retour que l'oubli ou la misère. Le nom d'Amoutons, l'un des physiciens français les plus remarquables du XVIIe siècle, est à peine prononcé dans les écrits de l'époque, et le génie de Mariotte s'éteignit au milieu de l'indifférence de son temps. Papin n'a pas attiré davantage l'attention des historiens. C'est dans ses propres ouvrages, dans un petit nombre de recueils scientifiques, ou dans les lettres éparses de quelques

savants dont la correspondance s'est conservée, qu'il faut aller puiser les rares documents qui nous restent sur les événements de sa vie. Tous ces documents sont muets sur la cause de son départ pour Londres; le *Journal des savants* nous apprend seulement que c'est à la fin de l'année 1675 qu'il quitta Paris[1].

Peu de temps après son arrivée en Angleterre, Papin eut l'heureuse inspiration de se présenter à Robert Boyle, l'illustre fondateur de la Société royale de Londres. C'est ce que nous apprend Boyle lui-même : « Il arriva heureusement, dit-il, qu'un certain traité françois, petit de volume, mais très-ingénieux, contenant plusieurs expériences sur la conservation des fruits, et quelques autres points de différentes matières, me fut remis par M. Papin, qui avait joint ses efforts à ceux de l'éminent Christian Huygens pour faire lesdites expériences[2]. » Dans la suite de l'entretien qu'il eut avec lui, apprenant « que le docteur Papin n'étoit arrivé de France en Angleterre que depuis peu de temps, dans l'espoir d'y trouver un lieu qui fût convenable à l'exercice de son talent, » Boyle résolut de l'associer à ses travaux.

Aucune position ne pouvait mieux convenir aux goûts et aux désirs de Papin. Issu de l'une des plus grandes familles de l'Irlande, Robert Boyle avait renoncé, pour se vouer tout entier à l'étude des sciences, aux avantages que lui assuraient sa fortune et son rang. Il avait consacré six années de sa jeunesse à voyager sur le continent, pour perfectionner ses con-

[1] *Journal des savants* du 17 février 1676.

[2] Roberti Boyle, *Opera varia*. Genève, 1682. Tome II.

naissances et pour fuir le spectacle des troubles civils qui déchiraient sa patrie. A son retour en Angleterre, la lutte durait encore entre le parlement et la royauté, Boyle se retira dans sa terre de Stoldbridge pour se livrer tout entier aux recherches scientifiques, et c'est là qu'au sein de la retraite et de la paix, loin du tumulte des villes et de l'agitation des partis, il poursuivait les beaux travaux qui devaient le placer à un rang si élevé dans la reconnaissance et l'admiration de son pays. Il réunissait autour de lui un certain nombre d'hommes distingués, qui cherchaient dans la culture des sciences et des arts un asile contre les dissensions du dehors. Cette réunion, qui portait le nom de *Collége philosophique*, se rassemblait sous sa direction, tantôt à Oxford, tantôt à Londres. Lorsqu'en 1660 Charles II monta sur le trône d'Angleterre, il fonda, des débris de cette réunion nomade, la *Société royale de Londres*, que Boyle fut chargé d'organiser. L'illustre savant refusa de présider cette société, il rejeta même les honneurs de la pairie pour reprendre le cours de ses recherches scientifiques.

Boyle s'était occupé avec succès de continuer les recherches d'Otto de Guericke sur le vide et sur la pression atmosphérique; il avait publié ses expériences, abandonnant à d'autres le soin de les poursuivre. Lorsque Papin arriva en Angleterre, il pensait à les reprendre, mais il ne trouvait personne pour le seconder. L'habileté de Papin et ses études spéciales sur la machine pneumatique lui rendaient son secours utile de toute manière; il l'admit donc dans son laboratoire. Commencées le 11 juillet 1676, les expériences qu'ils exécutèrent ensemble furent continuées jusqu'au

17 février 1679. Parmi ces expériences, il faut citer leurs recherches relatives à la vapeur de l'eau bouillante, qui plus tard devaient porter leurs fruits entre les mains du savant français. Boyle reconnaît, avec beaucoup de loyauté, que les services de Papin lui furent d'une grande utilité, et qu'il était d'une habileté rare dans la construction et le maniement des appareils de physique; « plusieurs des machines dont nous faisions usage, dit-il, particulièrement la machine pneumatique à deux corps de pompe et le fusil à vent, étoient de son invention, et en partie fabriqués de sa main. »

L'amitié de Robert Boyle et le mérite de ses travaux ouvrirent à Papin les portes de la Société royale de Londres. Il y fut admis le 16 décembre 1680, et ne tarda pas à se placer à un rang distingué parmi les membres de cette compagnie célèbre. C'est peu de temps après, en 1681, qu'il fit connaître pour la première fois, dans un ouvrage écrit en anglais, sous le titre de *New digester*, l'appareil qui a reçu en France le nom de *Digesteur* ou de *Marmite de Papin*[1]. Le digesteur, selon Papin, permettait de cuire les viandes en très-peu de temps et à très-peu de frais, tout en améliorant leur goût. Il donnait en même temps le moyen de ramollir les os, c'est-à-dire de les transfor-

[1] La traduction française du *New digester* fut publiée à Paris, en 1682, par Comiers, sous ce titre : *La manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en fort peu de temps et à peu de frais, avec une description de la machine dont il se faut servir pour cet effet, ses propriétés et ses usages confirmés par plusieurs expériences, nouvellement inventée par M. Papin, docteur en médecine.*

mer en une substance qui a reçu de nos jours le nom de *gélatine*, ce qui ajoutait à la quantité de matière nutritive contenue dans les diverses parties du corps des animaux. Cet appareil, qui a été renouvelé de nos jours sous le nom d'*autoclave*, est loin cependant d'avoir réalisé les promesses de l'inventeur; les viandes cuites par ce procédé contractent une saveur ammoniacale. Aussi, quoique Leibnitz ait dit dans une de ses lettres : « Un de mes amis me mande avoir mangé un pâté de pigeonneaux préparé de la sorte par le digesteur, et qui s'est trouvé excellent [1], » il est permis de contester la valeur de ce procédé de cuisine économique.

La marmite de Papin était munie d'un appareil connu de nos jours sous le nom de *soupape de sûreté*, et qui constitue l'un des organes les plus importants des machines à vapeur modernes. Tout le monde s'accorde à ajouter la plus haute importance à la découverte de cet appareil, que l'on regarde comme le prélude des travaux de Papin sur la vapeur. Au risque de paraître soutenir un paradoxe, nous oserons nous séparer encore sur ce point de l'opinion commune. Comme nous nous sommes proposé d'appuyer sur des textes authentiques les principaux faits exposés dans ce récit, nous citerons le passage original du livre de Papin sur le digesteur. On verra que la soupape de sûreté a une origine beaucoup plus humble qu'on ne le croit.

Papin commence par donner la description de son digesteur. L'appareil se compose de deux cylindres

[1] *Opera*, in-4°, 1768, t. I, p. 165.

creux rentrant l'un dans l'autre : le premier, à parois métalliques très-épaisses, renferme l'eau que l'on doit convertir en vapeurs; le second, plus petit, sert à contenir les viandes. Tout l'appareil est fermé par un épais couvercle métallique s'adaptant parfaitement aux contours du cylindre, auquel il est fixé par des écrous très-solides : quand on veut s'en servir, on le place sur un fourneau allumé. La marmite de Papin n'est donc qu'une sorte de bain-marie, dans lequel seulement la vapeur renfermée dans un espace clos ne peut se dégager au dehors. Après avoir donné la description de sa marmite, Papin ajoute :

« Cette machine est sans doute fort simple et peu sujette à se gâter, mais elle est incommode en ce qu'on ne regarde pas dedans aussi aisément que dans le pot ordinaire, et comme elle fait plus ou moins d'effet, selon que l'eau qui y est se trouve plus ou moins pressée, et aussi que la chaleur est plus ou moins grande, il pourrait arriver quelquefois que vous tireriez vos viandes avant qu'elles fussent cuites, et d'autres fois que vous les laisseriez brûler; ainsi il a fallu chercher des moyens pour connaître et la quantité de pression qui est dans la machine, et le degré de chaleur.

« Il n'y a qu'à faire un petit tuyau ouvert des deux bouts, et, l'ayant soudé sur un trou fait au couvercle, il faut appliquer sur l'ouverture d'en haut de ce tuyau une petite soupape bien exacte et garnie de papier. »

Pour connaître le degré de la pression de la vapeur, Papin fermait cette soupape au moyen d'une petite verge de fer qui, fixée par une de ses extrémités à

une charnière, portait à l'autre bout un poids mobile à la manière des romaines. Il avait déterminé la pression nécessaire pour soulever ce poids.

« De sorte, ajoute-t-il, que lorsque la soupape laisse échapper quelque chose, je conclus que la pression dans le bain-marie est environ huit fois plus forte que la pression de l'air, puisqu'elle peut soulever, non-seulement le poids qui résiste à six pressions, mais aussi la verge que j'ai éprouvée, qui résiste à deux, et ainsi, en augmentant ou diminuant le poids, ou en le changeant de place, je connais toujours à peu près combien la pression est forte dans la machine[1]. »

Ainsi Papin n'avait imaginé son levier et sa soupape que *pour savoir ce qui se passait dans le pot*, et pour veiller à l'exacte cuisson des viandes. En faisant varier la position occupée par le poids sur le bras de la romaine, il reconnaissait approximativement le degré de pression auquel se trouvaient soumises les viandes placées dans le bain-marie. A cette époque, en effet, il était encore loin de songer à construire une machine fondée sur la force élastique de la vapeur d'eau; et bien plus, lorsqu'il proposa cette machine, il ne pensa nullement à la munir de sa soupape. L'idée d'appliquer cet instrument à prévenir l'explosion de la chaudière d'une machine à vapeur ne lui vint que vingt-cinq ans plus tard, en 1705, c'est-à-dire quinze années après la publication du célèbre mémoire de 1690, dans lequel il donne la description de la première des machines de ce genre. C'est le physicien Desaguliers qui

[1] *La manière d'amollir les os*, p. 10.

transporta le premier dans la pratique cette idée de Papin; en 1717, il appliqua, en Angleterre, à une machine de Savery, la soupape du digesteur de Papin, que ce dernier avait proposée comme un moyen de se mettre à l'abri des explosions auxquelles cette machine donnait lieu. La construction du digesteur n'exerça donc aucune influence sur la découverte de la machine à feu; si elle y contribua en quelque chose ce ne fut guère qu'en familiarisant l'inventeur avec l'usage pratique de la vapeur d'eau.

Depuis la publication de son *New digester,* Papin se trouvait à Londres dans une position plus avantageuse peut-être que celle qu'il avait occupée à Paris. Il appartenait à la Société royale, la première des académies de l'Europe; en outre, la protection de Robert Boyle lui permettait d'espérer beaucoup, car ce savant illustre, successivement honoré de l'estime de Charles II, de Jacques II et de Guillaume, savait user en faveur de ses amis d'un crédit qu'il dédaignait pour lui-même. D'un autre côté, il continuait à entretenir avec son pays de bonnes relations; on insérait régulièrement dans le *Journal des savants* les communications qu'il adressait. Aussi ne peut-on se défendre d'un certain sentiment de dépit contre son humeur vagabonde, lorsqu'on le voit déserter tout d'un coup le sol hospitalier qui l'a reçu, et de même qu'il avait abandonné la France pour l'Angleterre, abandonner l'Angleterre pour l'Italie. Le chevalier Sarroti, secrétaire du sénat de Venise, venait de fonder dans cette ville, par l'ordre du sénat, une nouvelle académie, en vue du perfectionnement des sciences et des lettres, « avec une dépense et généro-

sité tout à fait extraordinaires, » dit Papin [1]. Sarroti offrit au physicien français une position dans cette société, et Papin accepta un peu à l'étourdie. Il résulte d'une lettre de lui datée d'Anvers, le 1er mars 1681, et adressée au docteur Croune, que depuis peu de jours il avait quitté l'Angleterre. Dans cette lettre, il priait son ami de remettre sa machine à la société, à laquelle il offrait en même temps ses services en quelque lieu qu'il se trouvât. La Société royale, qui le vit partir avec regret, tint note de la promesse et inscrivit son nom sur la liste de ses membres honoraires.

Papin séjourna plus de deux ans à Venise, occupé presque sans relâche à des expériences de physique. Ses travaux lui acquirent chez les Italiens une grande réputation. La mention seule de son opposition aux idées du respectable Guglielmini sur une question d'hydraulique « faisait peur à ce savant, » et plusieurs années après sa mort, un physicien florentin parle de « la célèbre machine, *le digesteur,* inventée par Papin, pour expliquer la cause des volcans et des tremblements de terre, débattue depuis des milliers d'années par les Babyloniens, les Grecs, les Romains, et tous les philosophes anciens et modernes. » Cependant il finit par s'apercevoir qu'il fallait beaucoup rabattre de la « générosité tout à fait extraordinaire » du chevalier Sarroti. En même temps que sa renommée grandissait, il voyait chaque jour s'amoindrir ses ressources, et il vint un moment où, désespérant de trouver en Italie la position avantageuse sur laquelle il avait compté, il dut prendre le parti de

[1] *Journal des savants*, 1684, p. 82.

laisser à leurs travaux le chevalier Sarroti et ses académiciens.

En quittant Venise, Papin revint directement en Angleterre : il espérait y ramasser les lambeaux de son crédit et de sa fortune. Mais ses longues pérégrinations avaient refroidi le zèle de ses amis, et tout ce qu'il put obtenir, ce fut d'entrer en qualité de pensionnaire à la Société royale. Il fut chargé d'exécuter les expériences ordonnées par l'Académie, et de copier sa correspondance; il recevait pour toute rétribution la somme de 62 francs par mois.

C'est pendant ce second séjour en Angleterre qu'il conçut et exécuta la première machine qui devait le mettre sur la trace de sa découverte des applications de la vapeur.

Nous avons insisté sur l'importance que l'on attachait, à la fin du XVIIe siècle, à l'emploi mécanique de la pression de l'air; on y voyait le moyen de doter l'industrie du moteur qu'elle cherchait. Depuis les recherches qu'il avait effectuées avec Boyle sur la machine pneumatique, Papin nourrissait plus particulièrement cette grande pensée. Il crut avoir découvert le moyen de la réaliser, en employant, comme moteur direct, la machine pneumatique exécutée en grand. Tel était son dessein lorsqu'il présenta en 1687, à la Société royale, le modèle d'une machine destinée à *transporter au loin la force des rivières*. Cette machine se composait de deux vastes corps de pompe dont les pistons étaient mis en jeu par une chute d'eau, et qui servaient à faire le vide dans l'intérieur d'un long tuyau métallique. Une corde attachée à l'extrémité de la tige du piston devait transmettre une

force motrice considérable, lorsque par l'effet de la pression atmosphérique, le piston, violemment chassé dans l'intérieur du tuyau, entraînerait avec lui les poids qui le retenaient [1]. C'était, comme on le voit, le principe de nos chemins de fer atmosphériques sur lesquels nous aurons à appeler l'attention dans le cours de ce volume. Cependant les essais auxquels on soumit cette machine en 1687, devant la Société royale, ne donnèrent que de mauvais résultats, soit en raison de la difficulté de maintenir le vide dans un long tuyau métallique, soit par suite de la lenteur extrême avec laquelle le mouvement se communiquait du piston aux fardeaux qu'il devait entraîner.

Papin avait fondé beaucoup d'espérances sur le succès de son appareil; cet échec les détruisait sans retour. De tristes lueurs commençaient à assombrir l'horizon du philosophe. Son séjour en Italie avait absorbé les faibles ressources de son patrimoine, et la rémunération de 62 francs par mois qu'il recevait de la Société royale était par trop insuffisante pour ses besoins. Il reporta alors sa pensée vers la France; mais les portes de sa patrie lui étaient fermées : l'impolitique et inique révocation de l'édit de Nantes, portée en 1685, frappait dans leur fortune et dans leurs droits les protestants français. Aux termes de

[1] La description de cette machine a été publiée par Papin dans les *Actes de Leipsick* (*Acta eruditorum Lipsiæ*). déc. 1688, p. 644, sous ce titre : *De usu tuborum prægrandium ad propagandam in longinquum vim motricem fluviorum*. Elle a été reproduite dans un autre ouvrage de Papin · *Recueil de diverses pièces*, imprimé à Cassel, en 1695.

cet arrêt, l'exercice de la médecine, de la chirurgie et de la pharmacie était interdit aux membres de la religion réformée. Papin aurait pu faire tomber d'un seul mot les barrières qui le séparaient de son pays, entrer à l'Académie des sciences où sa place était depuis longtemps marquée, et recevoir les traitements flatteurs que l'on prodiguait trois ans après à son cousin Isaac Papin, dont l'exil fit fléchir le courage, et qui abjura en 1690 entre les mains de Bossuet. Il préféra un exil éternel à la honte d'une abjuration. En 1687, le landgrave Charles, électeur de Hesse, lui offrit une chaire de mathématiques à Marbourg. Malgré les préoccupations de la politique et de la guerre, ce prince éclairé s'était toujours plu à suivre et à encourager ses travaux. Papin s'empressa d'accepter l'offre de l'électeur. Il écrivit au secrétaire de la Société royale pour l'informer de la résolution qu'il avait prise et le prier de lui faire compter l'arriéré de son traitement. Le trésorier reçut l'ordre de faire droit à cette demande; la Société décida en même temps, dans sa séance du 14 décembre 1687, que le docteur Papin recevrait en présent quatre exemplaires de l'*Histoire des poissons,* comme un témoignage des bons services qu'elle avait reçus de lui. Papin emporta ses quatre exemplaires de l'*Histoire des poissons;* mais c'était la perle de la fable : il est à croire que le *grain de mil* eût mieux convenu à l'état de ses affaires.

Arrivé à Marbourg, Papin commença ses leçons publiques de mathématiques. Ce nouveau métier, auquel il était peu fait, ne fut pas sans lui causer quelques ennuis et quelques difficultés au début.

Néanmoins, il reprit bientôt la suite de ses travaux accoutumés.

L'emploi du vide et de la pression atmosphérique, utilisés directement comme force motrice, avait mal réussi dans son appareil à double pompe pneumatique. Il espéra mieux remplir le grand dessein qu'il se proposait en construisant une autre machine également fondée sur l'emploi de la pression de l'air, mais dans laquelle le vide, au lieu d'être déterminé par le jeu d'une pompe pneumatique, serait obtenu en faisant détoner de la poudre à canon sous le piston de cette pompe. La poudre, brûlée dans un cylindre fermé par une soupape et parcouru par un piston, dilatait l'air par l'effet de la chaleur dégagée pendant la combustion; cet air, s'échappant par la soupape, provoquait un vide dans le cylindre, et dès lors la pression atmosphérique, pesant sur la tête du piston, chassait celui-ci dans l'intérieur du corps de pompe, C'était, comme on le voit, le principe de la machine précédente; seulement le vide était produit par un artifice d'une autre nature.

La machine à poudre que Papin fit connaître en 1688[1] n'était pas, à proprement parler, une invention de ce physicien. La première idée en avait été émise par l'abbé de Hautefeuille dans un mémoire imprimé à Paris en 1678[2]. A cette époque, le projet d'appli-

[1] *De novo pulveris pyrii usu.* (*Acta eruditorum Lipsiæ*, septembre 1688, p. 497.)

[2] *Pendule perpétuelle avec un nouveau balancier et la manière d'élever l'eau par le moyen de la poudre à canon, et autres nouvelles inventions contenues dans une lettre adressée par M. de Hautefeuille à un de ses amis*, 1678, p. 16.

quer la pression atmosphérique à la création d'un nouveau moteur occupait tous les savants. L'abbé de Hautefeuille avait parlé le premier d'obtenir une force motrice empruntée à la pression atmosphérique, en faisant le vide dans un tuyau par suite de la combustion de la poudre. Le principe de cette machine avait été conçu par l'abbé de Hautefeuille à l'époque où Louis XIV voulait élever les eaux de la Seine pour les consacrer à l'embellissement des jardins de Versailles; les difficultés extraordinaires et l'importance de ce projet tenaient alors en haleine l'esprit de tous les mécaniciens français. « Un si grand nombre d'inventions qui ont été proposées pour élever des eaux à Versailles m'engagea, dit Jean de Hautefeuille, à méditer sur les moyens de le faire avec facilité... Repassant ainsi dans mon imagination toutes les forces qui pouvaient être dans la nature, il s'en présenta une qui est infiniment plus grande que celle du vent, du courant des rivières et des torrents, et la plus violente qui ait jamais été : cette force est la poudre à canon, que l'on n'a point encore employée à l'élévation des eaux [1]. »

Le principe était bon en lui-même, mais la machine proposée par l'abbé pour le mettre à exécution était des plus grossières. Elle se composait simplement d'une grande caisse disposée trente pieds au-dessus de la masse d'eau qu'il s'agissait d'élever; cette caisse était munie de quatre soupapes s'ouvrant de dedans en dehors, et se terminait par un tube plongeant dans l'eau. Quand on enflammait dans cette caisse une cer-

[1] *Pendule perpétuelle*, etc., p. 9.

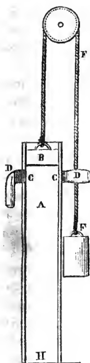
taine quantité de poudre à canon, on dilatait l'air qui, s'échappant par les soupapes, provoquait, dans l'intérieur de cet espace, un vide partiel; par suite de ce vide, l'eau, pressée par l'atmosphère extérieure, s'élançait dans l'intérieur du tube.

L'abbé de Hautefeuille, doué d'un certain esprit d'invention et de recherches, avait des habitudes scientifiques assez fâcheuses. Il abordait tous les sujets sans en approfondir un seul; il émettait en termes laconiques beaucoup d'idées vagues et mal formulées, et lorsque plus tard d'autres savants venaient à traiter sérieusement les questions qu'il n'avait fait qu'effleurer, il fatiguait le public du bruit de ses réclamations. C'est ainsi qu'il écrivait en 1682 : « Il y a trois ou quatre ans que je proposai une force qui me semblait devoir être de quelque utilité : c'est la poudre à canon, qui produit l'effet de la pompe aspirante par la raréfaction de l'air et celui de la pompe foulante par son effort. J'ai appris depuis ce temps-là que l'on avait fait une expérience à l'Académie royale des sciences, qui en approchait, et que l'on avait essayé ce principe pour l'élévation des corps solides... On m'a assuré qu'un gros de poudre à canon avait enlevé en l'air sept ou huit laquais qui retenaient le bout de la corde, et qu'ayant attaché des poids à son extrémité, ce gros de poudre avait enlevé 1,000 ou 1,200 pesant [1]. »

Ce n'était point l'Académie qui avait exécuté l'ex-

[1] *Réflexions sur quelques machines* [illegible] *les eaux, avec la description d'une nouvelle pompe* [illegible] *ent et sans piston, adressées par M. de Hautef*[illegible]*ame la duchesse de Bouillon*, p. 9.

périence dont parle Jean de Hautefeuille, mais bien Huygens, qui avait substitué à ce grossier mécanisme un appareil beaucoup plus parfait et qui consistait essentiellement dans l'emploi d'un corps de pompe parcouru par un piston. La machine n'était plus bornée au seul objet de l'élévation des eaux à une hauteur de trente pieds; elle devait constituer un moteur susceptible de recevoir toutes les applications industrielles. La figure ci-jointe que Huygens a donnée de son appareil en fait aisément comprendre le mécanisme.



A est un cylindre métallique; B un piston mobile dans ce cylindre; une corde enroulée sur une poulie et supportant le poids F qu'il s'agit d'élever, est attachée à ce piston. Au bas du cylindre est une petite boîte H destinée à recevoir la poudre. DD sont deux poches de cuir garnies de soupapes jouant de dedans en dehors et destinées à donner issue à l'air dilaté et aux produits gazeux de l'explosion de la poudre. « On met, dit Huygens, dans la boîte H un peu de poudre à canon avec un petit bout de mèche d'Allemagne allumée, et on serre bien cette boîte par le moyen de sa vis. La poudre, venant un moment après à s'allumer, remplit le cylindre de flamme [illegible] en chasse l'air par les tuyaux de cuir DD qui [illegible]ent et qui sont aussitôt refermés

par l'air de dehors; de sorte que le cylindre demeure vide d'air, ou du moins pour la plus grande partie. Ensuite le piston B est forcé par la pression de l'air qui pèse dessus, à descendre, et il tire ainsi la corde FF, et ce à quoi on l'a voulu attacher. La quantité de cette pression est connue et déterminée par la pesanteur de l'air, et par la grandeur du diamètre du piston, qui, étant d'un pied, sera pressé autant que s'il portait le poids d'environ 1,800 livres, supposé que le cylindre fût tout à fait vide d'air [1]. »

Papin connaissait depuis longtemps cette machine, car il avait secondé Huygens dans sa construction pendant qu'il logeait avec lui à la Bibliothèque du roi. Mais il avait reconnu dans ses dispositions divers inconvénients et il voulait seulement, dans la construction nouvelle qu'il proposait, en perfectionner le mécanisme. Les changements qu'il apportait à l'appareil de Huygens ont trop peu d'importance pour les signaler ici.

Cependant il était facile de reconnaître que les effets mécaniques provoqués par ce moyen ne pouvaient présenter qu'une puissance médiocre, parce qu'il était impossible, par la détonation de la poudre, de chasser entièrement l'air contenu dans le cylindre. En outre, comme le démontra le physicien anglais Hooke, l'air, en raison de sa compressibilité, pouvait rester en partie dans le tube; par suite de cette circonstance, si le tube présentait une certaine longueur, le mouvement

[1] *Nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air*, par Huygens de Zulichem. (*Divers ouvrages de mathématiques et de physique*, par MM. de la Société royale des sciences, p. 520.)

du piston devenait presque insensible. C'est en vain que Papin essaya, pour parer à cet inconvénient capital, de faire également le vide dans le tube; l'expérience démontra qu'il restait toujours dans l'appareil assez d'air pour annuler la plus grande partie des effets de la pression atmosphérique.

C'est alors que Papin, réfléchissant sur les agents qu'il serait permis d'employer pour remplacer la poudre à canon comme moyen de faire le vide dans un corps de pompe, eut l'idée hardie et profondément nouvelle d'employer la vapeur d'eau à cet usage. Dans l'histoire de la machine à vapeur, Papin ne peut revendiquer autre chose que l'idée d'employer la vapeur d'eau comme moyen de faire le vide; mais cette pensée, véritable inspiration du génie, suffit à l'immortaliser; elle honorera à jamais son nom, son siècle et sa patrie [1].

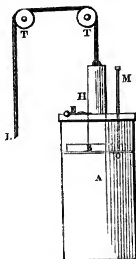
[1] Bien qu'il soit difficile de remonter par la pensée la pente d'idées qui amènent un homme de génie à la réalisation d'une grande découverte, il ne nous semble pas impossible de déterminer comment Papin fut conduit à reconnaître ce fait fondamental, que la condensation de la vapeur d'eau donne le moyen d'opérer le vide dans un espace fermé. Si nous ne nous trompons, il puisa cette idée dans une expérience faite en 1660 par Robert Boyle. Le physicien irlandais avait reconnu qu'en plongeant dans l'eau froide un éolipyle ou un tube de verre rempli de vapeurs, l'eau s'y élevait aussitôt et remplissait l'éolipyle comme par succion. Boyle, qui conservait encore les anciennes idées sur la transformation de l'eau en air par la chaleur, et qui parle ailleurs des moyens d'engendrer l'air artificiellement, ne put se rendre un compte exact de ce phénomène. Mais trente ans après, Papin, plus familiarisé avec l'usage et les propriétés de la vapeur, en reconnut la véritable nature et y trouva le moyen de faire le vide à volonté dans un espace clos. (Voyez le

Le mémoire dans lequel Papin propose pour la première fois l'emploi d'une machine ayant pour principe moteur la force élastique de la vapeur d'eau, fut publié en latin dans les *Actes de Leipsick*, au mois d'août 1690, sous ce titre : *Nova methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas* (*Nouvelle méthode pour obtenir à bas prix des forces motrices considérables*). Papin commence par rappeler les essais infructueux qu'il a faits antérieurement pour perfectionner la machine à poudre.

« Jusqu'à ce moment, dit-il, toutes ces tentatives ont été inutiles, et après l'extinction de la poudre enflammée, il est toujours resté dans le cylindre environ la cinquième partie de l'air. J'ai donc essayé de parvenir, par une autre route, au même résultat; et comme, par une propriété qui est naturelle à l'eau, une petite quantité de ce liquide, réduite en vapeurs par l'action de la chaleur, acquiert une force élastique semblable à celle de l'air et revient ensuite à l'état liquide par le refroidissement, sans conserver la moindre apparence de sa force élastique, j'ai cru qu'il serait facile de construire des machines où l'air, par le moyen d'une chaleur modérée, et sans frais considérables, produirait le vide parfait que l'on ne pouvait pas obtenir à l'aide de la poudre à canon. »

La figure suivante fera comprendre les éléments de la machine que Papin proposa pour utiliser les effets mécaniques de la vapeur d'eau.

passage original dans l'ouvrage de Boyle : *New experiments physico-mechanical touching the spring of the air and its effects*, p. 31-36, Oxford, 1660.)



A est un cylindre de cuivre fermé par le bas, ouvert par le haut et contenant un peu d'eau à sa partie inférieure. Ce cylindre est parcouru par un piston mobile B. Un orifice C traverse ce piston et a pour effet de permettre de l'abaisser jusqu'à ce que sa face inférieure touche l'eau, en donnant issue à l'air qui existe au-dessous de lui. Quand on a ainsi chassé l'air du cylindre, on bouche cet orifice C avec la tige M; on échauffe ensuite le bas du cylindre à l'aide d'un brasier. L'eau arrive à l'ébullition et la vapeur acquiert assez de puissance pour soulever le piston et le pousser jusqu'au haut de sa course. Cet effet obtenu, on pousse le cliquet E qui, s'enfonçant dans une rainure de la tige H, arrête et maintient le piston dans cette position. On éloigne alors le brasier, le cylindre se refroidit, la vapeur se condense, le vide se fait par conséquent au-dessous du piston. Si alors on retire le cliquet E, le piston, pressé par tout le poids de l'atmosphère extérieure, se précipite aussitôt au fond du cylindre et peut ainsi servir à élever des poids que l'on aurait attachés à l'extrémité de la corde TL fixée à la tige du piston et s'enroulant sur deux poulies [1].

[1] On trouvera à la fin du troisième volume (note 1re) le texte tout entier du mémoire de Papin.

Papin présentait ce petit appareil comme susceptible de recevoir dans l'industrie une application immédiate. En cela, il tombait dans l'erreur commune des inventeurs qui n'hésitent pas à considérer la première suggestion de leur esprit comme le dernier mot de la science et de l'art. On ne peut, en effet, voir dans la machine du physicien de Blois qu'un moyen de démontrer par l'expérience le principe de la force élastique de la vapeur et du parti que l'on peut en tirer comme force motrice. Quant à l'appliquer telle qu'elle était conçue aux usages de l'industrie, il était impossible d'y songer sérieusement. Cette disposition grossière qui consistait à placer une légère couche d'eau dans le cylindre lui-même et à produire la vapeur à l'aide d'un brasier placé par-dessous, de telle sorte que l'appareil n'était alimenté que par cette petite quantité d'eau qui ne se renouvelait jamais; le moyen plus vicieux encore qui faisait dépendre la chute du piston du refroidissement spontané de la vapeur, par suite de l'éloignement du brasier; ces tubes de métal mince, que l'action du feu aurait rapidement détruits et incapables de résister efficacement à la pression intérieure exercée sur leurs parois; l'absence d'un moyen propre à prévenir les explosions : tout nous montre que cet appareil ne présentait aucune des conditions que l'on voit communément réalisées dans la plus imparfaite des machines industrielles.

Cette erreur devait durement peser sur la destinée de Papin. Les défauts de sa machine étaient d'une évidence à frapper tous les yeux; aussi fut-elle accueillie avec une désapprobation marquée et placée d'un ac-

cord unanime au rang des appareils imparfaits qu'il avait antérieurement fait connaître. Sa grande conception concernant l'emploi de la vapeur fut enveloppée dans la même défaveur qui avait accueilli sa machine à double pompe pneumatique et sa machine à poudre. Aucun recueil scientifique ne reproduisit le mémoire publié dans les *Actes de Leipsick;* le physicien Hooke se borna à faire ressortir, dans quelques notes lues à la Société royale de Londres, les inconvénients de la nouvelle machine motrice proposée par le docteur Papin, et tout fut dit.

L'indifférence que rencontra sa découverte eut pour lui une conséquence funeste. En présence du peu de succès de ses idées, il se prit à douter de lui-même; il crut avoir fait fausse route et abandonna entièrement le projet de sa machine à vapeur. Il y avait cependant bien peu de modifications à apporter à sa construction primitve pour la rendre immédiatement applicable à l'industrie. L'emploi d'une chaudière servant à amener la vapeur dans l'intérieur du cylindre, et le refroidissement de la vapeur provoqué par une aspersion d'eau froide, suffisaient pour en faire le moteur le plus puissant que l'industrie eût possédé jusqu'à cette époque. Par malheur, les critiques qu'il rencontra découragèrent Papin, qui cessa entièrement de s'occuper de ce sujet, et lorsque, quinze ans après, il essaya d'y revenir, il fut conduit à proposer un appareil tout différent du premier, et dans lequel, abandonnant la grande idée dont l'honneur lui revient, il avait recours à des dispositions presque de tout point vicieuses.

Dans un voyage qu'il fit en Angleterre, en 1705,

Leibnitz eut occasion de voir fonctionner la machine à vapeur de Savery, première application pratique de la puissance motrice de la vapeur d'eau. Il envoya à Papin le dessin de cette machine, afin de connaître son opinion sur la découverte du mécanicien anglais, et celui-ci montra la lettre et le dessin à l'électeur de Hesse. C'est à l'instigation de ce prince que Papin reprit l'examen de ce sujet abandonné depuis quinze ans. Le résultat de son travail fut la publication d'un petit livre imprimé à Francfort en 1707, sous le titre de *Nouvelle manière pour élever l'eau par la force du feu.* La nouvelle machine à vapeur que Papin décrit dans ce mémoire n'est autre chose, bien qu'il essaye de s'en défendre, qu'une imitation de la machine de Savery, inférieure sous tous les rapports à celle de son rival. Il propose d'employer la force élastique de la vapeur à élever de l'eau dans l'intérieur d'un tube; cette eau est ainsi amenée dans un réservoir, d'où on la fait tomber sur les augets d'une roue hydraulique à laquelle elle imprime un mouvement de rotation.

Ainsi Papin abandonnait son idée capitale d'employer la vapeur comme moyen d'opérer le vide dans un cylindre, pour adopter le procédé bien moins avantageux qui consiste à se servir de la pression de vapeur pour élever une colonne d'eau. Il ne faisait en cela que copier, avec quelques modifications, la machine de Savery. C'est que cette machine, déjà en usage en Angleterre, avait obtenu un succès notable; Papin, égaré par l'apparence des résultats utiles qu'elle avait fournis, perdait ainsi de vue la grande conception qui perpétuera le souvenir de son génie.

On avait pensé jusqu'ici que les idées de Papin sur

cette seconde machine à vapeur n'étaient jamais sorties du domaine de la théorie. Une correspondance de Papin avec Leibnitz, retrouvée récemment par M. Kuhlmann, professeur à l'université de Hanovre, et communiquée à l'Académie des sciences de Paris dans la séance du 29 mars dernier, vient de jeter un jour tout nouveau sur cette question. Il résulte de ces lettres, qu'après avoir fait construire le modèle de la machine précédente, Papin l'avait fait exécuter en grand pour l'appliquer à un bateau qui fut essayé sur la Fulda. Des dissentiments ayant éclaté sur ces entrefaites entre lui et quelques personnages puissants de Marbourg, Papin prit la résolution de quitter l'Allemagne et de faire transporter son bateau en Angleterre pour y continuer ses expériences : c'est ce que démontre suffisamment la curieuse lettre de Papin à Leibnitz que nous mettons sous les yeux de nos lecteurs.

« Cassel, ce 7 juillet 1707.

« Monsieur,

« Vous savez qu'il y a longtemps que je me plains d'avoir ici beaucoup d'ennemis trop puissants. Je prenais pourtant patience; mais depuis peu j'ai éprouvé leur animosité de telle manière qu'il y aurait en trop de témérité à moi à oser vouloir demeurer plus longtemps exposé à de tels dangers. Je suis persuadé pourtant que j'aurais obtenu justice si j'avais voulu faire un procès; mais je n'ai déjà fait perdre que trop de temps à S. A. pour mes petites affaires, et il vaut bien mieux céder et quitter la place que d'être trop souvent obligé d'importuner un si grand prince. Je lui ai

donc présenté une requête pour le supplier très-humblement de m'accorder la permission de me retirer en Angleterre, et S. A. y a consenti avec des circonstances qui font voir qu'elle a encore, comme elle a toujours eu, beaucoup plus de bonté pour moi que je ne mérite.

« Une des raisons que j'ai alléguées dans ma requête, c'est qu'il est important que ma nouvelle construction de bateau soit mise à l'épreuve dans un port de mer, comme Londres, où on pourra lui donner assez de profondeur pour y appliquer la nouvelle invention qui, par le moyen du feu, rendra un ou deux hommes capables de faire plus d'effet que plusieurs centaines de rameurs. En effet, mon dessein est de faire le voyage dans ce même bateau, dont j'ai déjà eu l'honneur de vous parler autrefois, et l'on verra d'abord que sur ce modèle il sera facile d'en faire d'autres où la machine à feu s'appliquera fort commodément. Mais il se trouve une difficulté, c'est que ce ne sont point les bateaux de Cassel qui vont à Brême, et quand les marchandises de Cassel sont arrivées à Münden, il faut les décharger pour les transporter dans les bateaux qui descendent à Brême. J'en ai été assuré par un batelier de Münden, qui m'a dit qu'il fait une permission expresse pour faire passer un bateau de la Fulda dans le Weser. Cela m'a fait résoudre, Monsieur, de prendre la liberté d'avoir recours à vous pour cela. Comme ceci est une affaire particulière et sans conséquence pour le négoce, je suis persuadé que vous aurez la bonté de me procurer ce qu'il faut pour faire passer mon bateau à Münden, vu surtout que vous m'avez déjà fait connaître combien vous espérez

de la machine à feu pour les voitures par eau. On m'a aussi averti qu'à Hamel, il y a un courant extrêmement rapide, et qu'il s'y perd des bateaux. Cela me ferait souhaiter de savoir à peu près à combien de degrés ce canal est incliné sur l'horizon. Ainsi, Monsieur, si vous avez eu la curiosité de faire cette observation, je vous supplie d'avoir aussi la bonté de me dire ce qu'il en est. En tout cas, il vaudra toujours mieux prendre trop que pas assez de précautions pour garantir mon bateau de tout accident. Si j'étais assez heureux pour que vos affaires vous appelassent dans l'une ou l'autre des deux villes dans le temps que j'y passerai, je m'y ferais une extrême satisfaction d'y entendre et d'y profiter de vos bons avis en voyant notre bateau, et de vous supplier de bouche de me continuer la même bienveillance dont vous m'honorez depuis si longtemps, et de me permettre toujours de me dire avec respect, Monsieur, votre très-humble et très-obéissant serviteur, « D. PAPIN. »

Dès la réception de cette lettre, Leibnitz écrivit au conseiller intime de l'électeur de Hanovre, pour obtenir l'autorisation de faire passer le bateau de Papin des eaux de la Fulda dans celles du Weser. Mais cette autorisation se fit attendre; car, dans une seconde lettre, datée du 1er août 1707, Papin se plaint des retards qu'éprouve sa demande. Pour mettre le temps à profit, il continua les essais de son bateau. La lettre suivante, adressée à Leibnitz et datée du 15 septembre, montre que les résultats étaient de nature à l'encourager.

« L'expérience de mon bateau a été faite et elle a

réussi de la manière que je l'espérais; la force du courant de la rivière était si peu de chose en comparaison de la force de mes rames, qu'on avait de la peine à reconnaître qu'il allât plus vite en descendant qu'en montant. Monseigneur eut la bonté de me témoigner de la satisfaction, d'avoir vu un si bon effet, et je suis persuadé que si Dieu me fait la grâce d'arriver heureusement à Londres, et d'y faire des vaisseaux de cette construction qui aient assez de profondeur pour appliquer la machine à feu à donner le mouvement aux rames, je suis persuadé, dis-je, que nous pourrons produire des effets qui paraîtront incroyables à ceux qui ne les auront pas vus. »

Mais il n'était pas dans sa destinée de voir ce projet s'accomplir. La lettre que nous venons de citer contient le *post-scriptum* suivant, indice précurseur du mécompte qui l'attendait.

« Je viens de recevoir une lettre de Münden, d'une personne qui a parlé au bailli pour la permission de passer mon bateau dans le Weser. Elle a eu pour réponse que c'est une chose impossible; que les bateliers ne le veulent plus, parce qu'ils ont payé une amende de cent écus, et que la permission de Son Altesse Électorale est nécessaire pour cela. Il est vrai que quelques bateliers m'ont dit le contraire, mais d'autres aussi ont dit qu'il fallait une permission de Son Altesse. Je ne puis croire que ceux qui m'ont dit le contraire aient voulu me tromper. Enfin, je me vois en grand danger qu'après tant de peines et de dépenses qui m'ont été causées par ce bateau, il faudra que je l'abandonne, et que le public soit privé des avantares que j'aurais pu, Dieu aidant, lui procurer par ce

moyen. Je m'en consolerai pourtant voyant qu'il n'y a point de ma faute, car je ne pourrais jamais imaginer qu'un dessein comme celui-là dût échouer faute de permission. »

Il était en effet trop pénible de penser qu'un projet qui avait coûté toute une vie de travaux pût échouer devant un si misérable obstacle. C'est là cependant le triste dénouement que sa mauvaise étoile réservait aux efforts de Papin.

Ne recevant pas la permission qu'il avait demandée à l'électeur de Hanovre pour entrer dans les eaux du Weser, Papin crut pouvoir passer outre. Le 25 septembre 1707, il s'embarqua à Cassel sur la Fulda, et arriva à Münden le même jour. Münden, ville du Hanovre, est située au confluent de la Fulda et de la Wera, qui se réunissent en ce point pour former le Weser. Papin comptait continuer sa route sur ce fleuve, et arriver ainsi à Brême, près de l'embouchure du Weser dans la mer du Nord, où il se serait embarqué sur un vaisseau qui l'aurait conduit à Londres, en remorquant son petit bateau. Mais les mariniers lui refusèrent l'entrée du Weser, et comme il insistait, sans doute, et réclamait avec force contre un procédé si rigoureux, ils mirent sa machine en pièces. Quelque étonnant qu'il nous paraisse, ce fait est prouvé par le curieux document que l'on va lire. C'est une lettre adressée à Leibnitz par le bailli de Münden. Le bailli, honteux sans doute de la fâcheuse aventure arrivée au protégé du puissant Leibnitz, essaye de s'en excuser et de se prémunir d'avance contre les plaintes du vieillard qu'il a laissé si inhumainement traiter. Cette lettre, rapportée par M. Kuhlmann, est

écrite en français; nous la citons textuellement :

« Münden, ce 27 septembre 1707.

« Monsieur,

« Ayant appris par le médecin Papin, qui, venant de Cassel, passa avant-hier par cette ville, que vous vous trouvez présentement en cette cour-là, je me donne l'honneur de vous avertir, Monsieur, que ce pauvre homme de médecin qui m'a montré votre lettre de recommandation pour Londres, a eu le malheur de perdre sa petite machine d'un vaisseau à roues que vous avez vue. Les bateliers de cette ville-ci ayant eu l'insolence de l'arrêter et de le priver du fruit de ses peines, par lesquels il pensait à s'introduire auprès de la reine d'Angleterre. Comme l'on ne m'avertit de cette violence qu'après que le bonhomme fut parti, et qu'il ne s'était point adressé à nous, mais au magistrat de la ville pour s'en plaindre, quoique cette affaire fût de ma juridiction; vous voyez, Monsieur, qu'il n'était pas en mon pouvoir d'y remédier. C'est pourquoi je prends la liberté de vous informer de ce fait, en cas que si cet homme ne voulût faire des plaintes à Hanovre et à Cassel, vous soyez persuadé de la vérité et de la brutalité de ces gens-ci. Si, en repassant à Hanovre, je puis avoir l'honneur de vous voir, Monsieur, je me donnerai celui de vous assurer moi-même de la passion constante avec laquelle je suis, Monsieur, votre très-humble et très-obéissant serviteur, « ZEUNER. »

Le même fait est confirmé par une lettre, datée du 20 octobre 1707, adressée à Leibnitz par un certain

Hattenbach, et qui contient ces deux lignes : « Le pauvre Papin a été obligé de laisser son bateau à Münden, n'ayant jamais pu obtenir de l'amener. »

On est saisi d'un profond sentiment de compassion quand on se représente l'infortuné vieillard, privé des moyens sur lesquels il avait fondé toutes ses espérances, sans ressources et presque sans asile, et ne sachant plus en quel coin de l'Europe il irait cacher ses derniers jours. Il n'osait revenir sur ses pas et rentrer à Marbourg, dans cette université qu'il avait volontairement abandonnée. D'un autre côté, il ne pouvait songer à la France; plus que jamais l'accès de sa patrie lui était fermé, car l'intolérance religieuse, dont les excès ont déshonoré les dernières années du règne de Louis XIV, continuait à y déployer ses fureurs. Mais l'Angleterre avait été pour lui une autre patrie; c'est là que la fortune avait souri un moment aux efforts de sa jeunesse. Les encouragements et l'appui qu'il avait rencontrés auprès de l'illustre Robert Boyle, les relations qu'il avait formées avec les membres de la Société royale, vivaient au nombre des plus doux souvenirs de son cœur; il prit la résolution de continuer sa route vers l'Angleterre, il voulut mourir sur le sol hospitalier où avaient fleuri les quelques jours heureux de son existence. Faible et malade, il s'achemina tristement vers ce dernier asile de sa vieillesse. Mais dans le long intervalle de son absence, ses amis avaient eu le temps de l'oublier; Robert Boyle était mort, et le nom de Papin était presque inconnu des nouveaux membres de la compagnie. Pour subvenir à ses besoins, il fut contraint de se remettre à la solde de la Société royale. Le

grand inventeur dont notre siècle glorifie la mémoire se trouva dès ce moment, et jusqu'aux derniers jours de sa vie, réduit à un état voisin de la misère. Il fut contraint, faute de ressources suffisantes, de renoncer à poursuivre les expériences de sa seconde machine à vapeur commencées en Allemagne. « Je suis maintenant obligé, dit-il dans une de ses lettres, de mettre mes machines dans le coin de ma pauvre cheminée. » En effet, cette ardeur d'invention et de recherches, qui avait été comme l'aliment de son existence, persistait encore dans l'âme du noble vieillard; c'était le dernier lien qui le rattachait à la vie. Il était sans cesse occupé à combiner de nouvelles machines, pour l'exécution desquelles il réclamait, trop souvent en vain, les secours de la Société royale. Le secrétaire de la société, M. Sloane, lui avait demandé compte d'une petite somme qu'il lui avait remise, et Papin lui écrivait pour indiquer l'emploi que cet argent avait reçu :

« Puisque vous désirez, très-honoré Monsieur, un compte rendu de ce que j'ai fait pour la Société royale depuis que j'ai reçu quelque argent, afin que vous puissiez mieux juger ce qu'il est convenable de me donner maintenant, j'ai déposé sur ce papier ce que j'estime le plus important. Mais, avant tout, je dois vous prier de vous souvenir que vous devez vous mettre à ma place sans restriction, afin que je sois payé selon ce que j'ai mérité, et ayant déjà dans la tête plus de travail de cette nature que je n'en pourrai faire dans le reste de ma vie, j'ai résolu de négliger tous les autres moyens de pourvoir à ma subsistance, étant persuadé qu'il ne peut y avoir de meilleure occu-

pation que de travailler pour la Société royale, puisque c'est la même chose que de travailler pour le bien public. Je vous en prie, Monsieur, permettez-moi d'ajouter ici que, dans l'Académie royale de Paris, il y a trois pensionnaires pour la mécanique, qui ont chacun un très-bon salaire annuel, et, en outre, qu'il y a d'habiles ouvriers de toutes sortes, payés par le roi, qui sont prêts en tout temps à exécuter tout ce que ces pensionnaires commandent. Prenez, s'il vous plaît, les Mémoires de l'Académie royale des sciences, et voyez ce que ces trois pensionnaires font chaque année, et comparez-le avec ce que j'ai fait depuis sept mois; j'espère que vous trouverez que j'ai raison de dire que j'ai fait autant qu'on peut attendre du plus honnête homme, avec ma petite capacité et ma pénurie d'argent [1]. »

Il est triste de voir le pauvre proscrit contraint d'invoquer des secours étrangers pour perfectionner les inventions utiles qui ne cessaient d'occuper les loisirs de ses derniers jours.

« Je propose humblement à la Société royale, écrivait-il le 16 mai 1709, de faire un nouveau fourneau qui épargnera plus de la moitié des combustibles. Je ne puis encore dire précisément combien; mais il est certain que l'économie sera si considérable qu'elle fera plus que compenser la dépense nécessaire pour l'acquérir... Je désire humblement que la Société royale me donne 250 fr., et après cela il sera facile d'essayer une chose qui peut être utile à la respiration, la végétation, la cuisine, etc. »

[1] *Lettres inédites de Papin*, publiées par M. Bunsen, professeur de physique à Marbourg.

On lit encore dans une lettre adressée à M. Sloane :

« Certainement, Monsieur, je suis dans une triste position, puisque, même en faisant le bien, je soulève des ennemis contre moi ; cependant, malgré tout cela, je ne crains rien, parce que je me confie au Dieu tout-puissant. »

La pauvreté et l'abandon dans lesquels le malheureux philosophe traîna le poids de ses derniers jours devaient lui être d'autant plus douloureux qu'il était chargé de famille. C'est ce qui semble résulter d'une réponse qu'il adressa au comte de Sintzemdorff, lorsque ce gentilhomme l'invitait à aller visiter en Bohême une de ses mines abandonnées à cause de l'envahissement des eaux.

« Je souhaiterais extrêmement, dit-il, de témoigner à Votre Excellence l'ardeur de mon zèle à lui rendre mes très-humbles services, n'était que les pays que nous voyons ruinés dans notre voisinage, et l'incertitude des événements de la guerre, m'avertissent que je ne dois pas abandonner ma famille de si loin dans un temps comme celui-ci. [1] »

C'est par erreur que l'on fixe ordinairement à l'année 1710 l'époque de la mort de Papin. Il vivait encore en 1714. C'est ce qui résulte d'une dernière lettre de Leibnitz, où il est question de lui. Cette lettre est sans date, mais la mention qui s'y trouve faite du récent avénement de George Ier au trône d'Angleterre et de la loi anglaise intitulée l'*Acte de succession*, en fixe l'époque vers l'année 1714.

« Il y avait dans votre cour, écrit Leibnitz, un sa-

[1] *Recueil de diverses pièces*, etc., p. 49.

vant mathématicien et machiniste français, nommé Papin, avec lequel j'échangeais des lettres de temps en temps. Mais il alla en Hollande et peut-être plus loin, l'année passée. Je souhaite d'apprendre s'il est revenu ou s'il a quitté le service, et s'est transporté en Angleterre, comme il en avait le dessein... » « Y a-t-il donc longtemps que M. Papin est de retour chez vous? J'avais pensé qu'il eut tout à fait quitté, car je le trouvais un peu chancelant; et encore à présent sa lettre me paraît être de ce caractère, quoiqu'elle soit extrêmement générale. Il a un mérite qui certainement n'est pas ordinaire; vous le trouverez, Monsieur, en le pratiquant; et ce ne serait peut-être pas mal de le faire, pour voir un peu à quoi il s'occupe, car il ne m'en dit mot. »

C'est là d'ailleurs le seul document qui permette d'éclairer les derniers temps de la vie de Papin. On ne peut préciser l'époque où il acheva de mourir. Il languit sans doute quelques années encore dans l'isolement et la pauvreté, et il est douloureux de penser que le besoin a pu abréger le terme de sa triste existence. Quelques personnes ont voulu expliquer le mystère qui couvre les derniers temps de sa vie, par son secret retour aux bords de la Loire, où il voulut mourir. Ainsi il ne nous est pas même donné de connaître le coin de terre où reposent les cendres de ce grand homme infortuné.

Quand on jette un regard d'ensemble sur les travaux de Papin, on ne peut s'empêcher de reconnaître qu'ils sont marqués au coin du génie. Cependant le mérite de notre compatriote à été contesté, et dans une notice sur la machine à vapeur, le docteur Robi-

son n'a pas craint de dire : « Papin n'était ni physicien ni mécanicien [1]. » La physique du XVII[e] siècle se composait d'un trop petit nombre de principes pour qu'il soit permis de refuser à aucun savant de cette époque la connaissance des faits si simples qu'elle embrassait. De plus, quand on a eu la pensée de créer une force motrice par la seule action de l'eau bouillante, on n'est pas seulement mécanicien, on est mécanicien de génie. Il est juste néanmoins de reconnaître que, dans ses travaux, Papin a souvent manqué de suite. Son esprit procédait par sauts et comme par boutades; il découvrait des faits épars d'une haute importance, et ne savait pas trouver le lien propre à les rattacher en faisceau; il établissait de grands principes et se montrait inhabile à en déduire les conséquences, même les plus rapprochées. C'est dans les premiers temps de sa vie scientifique, en s'occupant de l'insignifiant objet de la cuisson des viandes, qu'il invente la soupape de sûreté, et ce n'est qu'à la fin de sa carrière qu'il songe à l'appliquer à une machine dont les dispositions sont presque de tout point défectueuses. Pendant la construction d'un autre appareil imparfait, le moteur à double pompe pneumatique, il invente le robinet à quatre ouvertures, organe dont Leupold et James Watt ont tiré un si grand parti dans les machines à vapeur. Enfin il découvre le principe fondamental de l'emploi de la vapeur pour faire le vide et soulever un piston, et bientôt, détourné par la critique, il perd de vue sa découverte, et meurt sans

[1] « *He was nether philosopher nor mecanician* » (*Philosophical magazine*, 1822, t. II, p. 49.)

soupçonner l'importance extraordinaire qu'elle doit acquérir un jour. Il y a là un vice d'esprit que l'on essayerait en vain de dissimuler.

Cependant les circonstances de la vie de Papin expliquent suffisamment ce défaut. Si son existence se fût écoulée calme et honorée dans sa patrie, s'il eût vécu entouré d'aides intelligents, de constructeurs et d'ouvriers, s'il eût goûté quelque temps les loisirs et la liberté d'esprit, qui sont nécessaires à l'exécution des longs travaux scientifiques, il est probable que l'on n'aurait pas à défendre sa mémoire contre de tels reproches; la postérité, qui ne connaît qu'un coin de son génie, aurait alors possédé Papin tout entier. Mais éloigné dès sa jeunesse du ciel de sa patrie, obligé de promener à travers l'Europe le poids de ses ennuis et de sa pauvreté, contraint de frapper de son bâton de voyage à la porte des académies étrangères, le malheureux philosophe pouvait-il nous léguer autre chose que les ébauches de son génie? Si imparfaites qu'elles soient, elles suffisent à faire comprendre ce que l'on pouvait attendre de lui dans des conditions plus favorables. Pendant qu'il végétait oublié en Allemagne, un simple serrurier du Devonshire, dépourvu de toutes connaissances scientifiques, exécutait sans peine la première machine à vapeur atmosphérique, en se bornant à rapprocher les découverts éparses du mécanicien français. Papin n'eût-il pu suffire à la tâche accomplie par le serrurier Newcomen? Si donc la machine à vapeur n'est pas une invention exclusivement française, il ne faut l'attribuer qu'aux tristes circonstances qui, pendant quarante ans, fermèrent à Papin l'accès de sa patrie. Il y avait dans toutes les

grandes villes de la France, et surtout dans celles des bords de la Loire, une nombreuse population de huguenots industrieux qui possédaient des capitaux immenses et concentraient dans leurs mains l'exploitation des principaux arts mécaniques. Ces hommes, qui devaient transporter l'industrie française au delà du Rhin et à l'autre bord de l'Océan, étaient tous ses amis; nul doute qu'ils ne lui eussent offert les ressources nécessaires pour perfectionner sa découverte, et qu'il n'eût trouvé dans le concours de ses compatriotes le moyen de doter son pays de l'honneur entier de cette invention impérissable. Ainsi la révocation de l'édit de Nantes ne fut pas seulement une offense aux lois éternelles de la morale et de la justice, elle n'eut pas uniquement pour effet l'exil d'un million d'hommes et le transport à l'étranger d'une grande partie de l'industrie nationale, elle devait encore priver la France de la découverte qui a le plus activement contribué aux progrès de la civilisation moderne.

CHAPITRE VI.

Machine de Savery. — Newcomen et Cawley. — Machine à vapeur atmosphérique de Newcomen.

Papin vivait en Allemagne lorsqu'il publia la description de sa machine à vapeur atmosphérique; mais l'Allemagne accordait alors une trop faible place à l'industrie pour offrir un théâtre favorable au développement de ses idées. Ses projets ne pouvaient, à

la même époque, trouver en France un accueil plus avantageux. Épuisée d'hommes et d'argent par trente années de guerre, la France voyait chaque jour dépérir son commerce; la révocation de l'édit de Nantes lui avait porté un coup irréparable, en la privant, suivant les termes du mémoire de d'Aguesseau, « dans toutes sortes d'arts, des plus habiles ouvriers, ainsi que des plus riches négociants, qui étaient de la religion réformée. » Mais l'Angleterre se trouvait dans des conditions toutes différentes. Depuis la restauration de la maison des Stuarts, le commerce et l'industrie y recevaient un développement chaque jour plus rapide; à l'ombre de la paix et d'une administration intelligente, cette grande nation commençait à tirer parti des richesses accumulées sous son sol. Les mines de houille, répandues en Angleterre avec une profusion extraordinaire, forment, comme on le sait, l'une des sources les plus importantes des revenus du pays; depuis plusieurs années, leur exploitation se poursuivait avec ardeur. Mais en raison des dispositions géologiques de la plupart des terrains houillers de la Grande-Bretagne, d'immenses courants d'eau viennent à chaque instant alterner avec les couches du minerai. Ces nappes d'eaux souterraines apportaient les obstacles les plus graves à l'extraction du combustible, et la profondeur croissante des mines ajoutait de jour en jour à ces inconvénients et à ces dangers. Les moyens souvent insuffisants mis en usage pour l'épuisement des eaux occasionnaient partout des dépenses énormes, et ces difficultés commençaient à éveiller les inquiétudes de la nation tout entière. L'annonce d'un moteur nouveau, puissant et économique,

ne pouvait donc être accueillie avec indifférence au milieu d'un peuple qui voyait sa prospérité ou sa ruine suspendues à cette question.

Thomas Savery, ancien ouvrier des mines devenu capitaine de marine et très-habile ingénieur, s'occupait depuis longtemps de l'étude des moyens mécaniques applicables au dessèchement des houillères, lorsqu'il eut connaissance des travaux de Papin. Mais les idées de ce dernier étaient devenues en Angleterre l'objet de vives critiques; Robert Hooke avait fait ressortir les défauts de sa machine atmosphérique. Les attaques de Robert Hooke étaient parfaitement justifiées par les grossières dispositions de l'appareil de Papin, considéré comme machine motrice : la nécessité d'approcher et de retirer le feu à chaque instant, l'action nuisible que la chaleur aurait exercée sur les parois extérieures du cylindre, la lenteur presque ridicule des mouvements du piston qui ne pouvait fournir plus d'une oscillation par minute, étaient autant d'obstacles évidents à son application à l'industrie. Mais le critique anglais, égaré par ces objections de détail, méconnaissait la grande pensée de Papin qui, en imaginant de faire le vide dans un cylindre par la condensation de la vapeur d'eau, dotait la mécanique de l'idée la plus grande et la plus neuve que l'histoire de cette science eût jamais enregistrée. L'argumentation et les reproches de Robert Hooke donnèrent le change à Thomas Savery. Au lieu de se borner à faire subir à la machine de Papin quelques modifications très-simples qui auraient permis de la transporter immédiatement dans la pratique, il voulut construire une machine à vapeur fondée sur des prin-

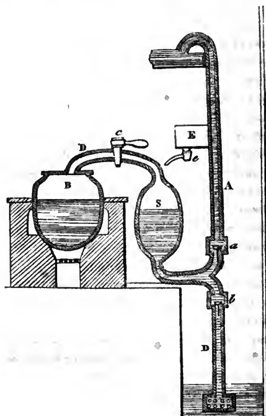
cipes tout différents. Laissant de côté le cylindre et le piston, il fabriqua un modèle de machine dans laquelle la vapeur agissait directement par sa pression pour élever l'eau dans l'intérieur d'un tube et la faire jaillir au dehors : Papin avait proposé un moteur universel, Savery proposait une machine applicable au seul objet de l'élévation des eaux.

C'est en 1698 que le capitaine Savery demanda un brevet lui assurant le privilége de la construction de sa machine à vapeur. Il la fit fonctionner la même année à Hamptoncourt, en présence du roi Guillaume qui s'y intéressa vivement, et le 14 juin 1699, on en fit l'essai devant la Société royale. La machine de Savery reçut, à différentes époques, plusieurs perfectionnements de la part de l'inventeur; les dernières modifications qu'il apporta à son appareil, et qui lui permirent de marcher avec régularité, furent consignées dans une brochure qui parut en 1702, sous le titre de l'*Ami du mineur* (*The miner's friend*) [1].

La figure suivante présente les éléments essentiels de la machine de Savery. Voici le jeu de ses différentes pièces. La vapeur d'eau fournie par la chaudière B arrive, en traversant le tuyau D, dans l'intérieur du vase métallique S. Elle presse l'eau contenue dans ce vase, et par sa force élastique la refoule dans le tube A, en soulevant la soupape *a* qui s'ouvre de haut en bas, et fermant la soupape *b* qui s'ouvre de bas en haut;

[1] *L'Ami du mineur, ou description d'une machine pour élever l'eau par le feu, et la manière de la placer dans les mines, avec un exposé des différents usages auxquels elle est applicable et une réponse aux objections faites contre elle*, par Thomas Savery. Londres, 1702.

l'eau jaillit ainsi par l'extrémité supérieure du tube A et s'écoule au dehors. Lorsque le vase S s'est vidé de



cette manière, on ferme le robinet *c* pour intercepter la communication avec la chaudière, et ouvrant aussitôt le robinet *e*, on fait arriver un courant d'eau continu du réservoir E; la vapeur contenue dans le vase S se trouve ainsi subitement condensée. Le vide se trouvant produit à l'intérieur de ce vase par suite de la condensation de la vapeur, la soupape *b* se soulève par

l'afflux de l'eau qui s'élance, par le tube D, dans l'intérieur de l'appareil en vertu de la pression atmosphérique. Alors le robinet *c*, étant ouvert de nouveau, donne accès à de nouvelle vapeur dans le vase S, et cette vapeur, pressant le liquide, le refoule dans le tube A. La vapeur étant de nouveau condensée par une affusion d'eau froide, le vide produit dans le vase S appelle une nouvelle quantité d'eau dans ce récipient, et ainsi de suite. Il suffit donc d'ouvrir successivement les robinets *c* et *e* pour élever d'une manière à peu près continue toute l'eau que l'on désire faire monter. D'après Switzer, cette machine pouvait élever par minute 52 gallons d'eau, c'est-à-dire quatre fois le contenu du récipient S, à la hauteur de 55 pieds.

La machine de Savery présentait un défaut capital. Le récipient devait satisfaire à deux conditions incompatibles : il fallait que les parois de ce vase fussent à la fois très-épaisses pour supporter à l'intérieur la pression considérable exercée par la vapeur d'eau, et très-minces pour se refroidir rapidement. En outre, elle n'élevait l'eau qu'à la condition de l'échauffer en partie, car la vapeur arrivant à l'intérieur du récipient S s'y condensait en grande quantité; de telle manière que lorsque l'eau montait dans le tube, elle avait déjà acquis une température assez élevée par suite de la chaleur abandonnée par la vapeur revenue à l'état liquide. Cet appareil reposait donc sur un principe vicieux. Il y aurait cependant une injustice profonde à contester à Thomas Savery l'honneur qui lui revient pour avoir imaginé et construit la première machine à vapeur qui ait fonctionné en Europe. Si la postérité doit une haute reconnaissance au savant qui découvre

de grandes vérités théoriques, elle doit le même tribut d'hommages à celui qui, transportant cette idée dans la pratique, lui fait porter ses premiers fruits.

Lorsque Savery eut terminé la construction de sa machine, il se hâta de la présenter aux propriétaires des mines. Mais elle arrivait dans un moment fâcheux. Depuis plusieurs années, les propriétaires des mines de houille étaient assiégés par les faiseurs de projets qui les avaient entraînés, sans résultat, dans toute sorte de dispendieux essais. Les échecs nombreux que l'on avait éprouvés en expérimentant des machines imparfaites ou de prétendus perfectionnements d'anciens mécanismes, devaient naturellement jeter de la défaveur sur les conceptions nouvelles. La machine de Savery porta la peine de toutes les tentatives infructueuses exécutées jusque-là. Elle arrivait à la suite d'une foule de projets qui avaient trompé l'attente générale, et l'on ne prêta aucune attention aux promesses de son inventeur. Savery essaya inutilement de lutter contre ces préventions regrettables; les propriétaires des mines persistèrent à rejeter sa machine, qui ne servit guère que pour élever l'eau dans l'intérieur des palais ou des maisons de plaisance.

Savery n'assignait d'autres limites à la puissance de sa *pompe à feu* que l'impossibilité où l'on était de fabriquer des récipients et des tubes assez forts pour résister à la pression de la vapeur. « Je ferai monter, disait-il, de l'eau à 500 ou 1,000 pieds de hauteur, si vous pouvez m'indiquer le moyen d'avoir des vaisseaux d'une matière assez solide pour résister à un poids aussi énorme que celui d'une colonne d'eau de

cette hauteur; mais, du moins, ma machine élève aisément un plein tuyau d'eau à 60, 70 et 80 pieds[1]. » Comme la plupart des inventeurs, Savery s'exagérait ici la puissance de son appareil; il oubliait le danger de l'explosion. La pensée ne lui était pas venue d'appliquer à sa chaudière la soupape de sûreté que Papin avait imaginée pour son digesteur. Aussi ne pouvait-on élever l'eau avec sécurité au-dessus de 40 pieds, et si l'on dépassait cette limite, on courait le risque de voir la chaudière éclater. Lorsque Savery établit une de ses pompes pour élever l'eau dans les bâtiments d'York, il produisait de la vapeur dont la pression atteignait huit ou dix atmosphères, et alors, selon Desaguliers, « la chaleur était si grande qu'elle fondait la soudure, et sa force telle qu'elle ouvrait la machine dans différentes jointures. » Aussi les dangers que l'on redoutait, par suite du défaut de résistance des chaudières, furent-ils la considération la plus grave qui s'opposa à l'emploi de la pompe à feu de Savery pour l'épuisement de l'eau dans les mines.

Cependant l'introduction de ces premières machines à vapeur dans certains comtés de l'Angleterre eut pour résultat d'attirer l'attention sur l'emploi mécanique de la vapeur d'eau; en même temps elle familiarisa avec son usage les populations des grands centres manufacturiers et les ouvriers des différentes professions. En ce temps-là vivaient dans la ville de Darmouth deux honnêtes et industrieux artisans, unis dès leur enfance par une étroite amitié : c'étaient le serrurier Thomas Newcomen et le vitrier Jean Cawley.

[1] *The miner's friend.*

Une machine de Savery vint à être établie dans le voisinage de Darmouth; à leurs jours de loisir, Newcomen et Cawley aimaient à aller ensemble en considérer le mécanisme, et ils devisaient au retour sur les effets de cette machine nouvelle qui les frappait de l'admiration la plus vive. Les deux amis échangeaient entre eux les différentes pensées que cette vue faisait naître dans leur esprit. Newcomen avait quelque instruction, il n'était pas sans lecture. Compatriote de Robert Hooke, il avait coutume de lui écrire pour lui soumettre divers projets relatifs à sa profession. Jean Cawley engagea donc son ami à communiquer au docteur les réflexions que leur avait suggérées l'examen de la pompe à feu de Savery. A la suite de la correspondance qui s'établit entre eux à cette occasion, Robert Hooke fit connaître à Newcomen la machine atmosphérique que Papin avait proposée en 1690. Il ne parut pas impossible aux deux artisans de mettre à exécution le plan du mécanicien français, et la correspondance continua sur ce nouveau sujet entre le docteur et l'intelligent ouvrier. Robert Hooke renouvelait auprès de Newcomen les critiques qu'il avait dirigées, devant la Société royale, contre la machine de Papin; cependant ces objections ne produisaient qu'une impression assez faible sur l'esprit de l'artisan; ses connaissances incomplètes en mécanique l'empêchaient sans doute d'apprécier toute la portée des critiques du savant. On a trouvé dans les papiers de Robert Hooke le brouillon d'une lettre dans laquelle il essaye de dissuader Newcomen du projet de construire une machine d'après les idées du physicien français. Cette lettre renfermait ce passage

significatif : « Si Papin pouvait faire le vide *subitement* dans son cylindre, votre affaire serait faite. » Robert Hooke faisait allusion par là à l'excessive lenteur que présentaient les mouvements du piston dans la machine de Papin, par suite de l'absence de tout expédient propre à condenser rapidement la vapeur. C'est certainement en réfléchissant sur les moyens de produire plus promptement le vide dans le cylindre de Papin, que Newcomen et Cawley eurent l'idée, parfaitement simple d'ailleurs et d'avance tout indiquée, de condenser la vapeur par des affusions d'eau froide. Quoi qu'il en soit, aidé de son ami le vitrier, Newcomen se mit à construire au coin de sa forge un modèle de machine qu'il destinait à des expériences. Une chaudière servait à diriger un courant de vapeur dans l'intérieur d'un cylindre de cuivre muni d'un piston ; quand le piston était parvenu au haut de sa course, on condensait subitement la vapeur en faisant couler de l'eau froide sur la partie extérieure du cylindre ; dès lors, le poids de l'atmosphère, ne rencontrant plus de résistance au-dessous du piston, le faisait aussitôt redescendre. Les deux artisans de Darmouth, transportant dans la pratique les idées théoriques de Papin, venaient d'exécuter la première machine à vapeur atmosphérique, c'est-à-dire la machine la plus simple et la plus puissante qui eût été construite jusqu'à cette époque.

Newcomen et Cawley se mirent alors en campagne pour obtenir du roi la délivrance d'un brevet qui leur assurât le privilége de leur machine. Mais le crédit d'un serrurier du Devonshire est chose assez mince, et il s'écoula un temps assez long avant que l'on sou-

geât à examiner la demande des deux artisans. Sur ces entrefaites, le capitaine Savery fut instruit de leurs démarches. Le procédé de condensation de la vapeur par des aspersions d'eau froide était mis en usage dans sa machine, et la propriété de ce moyen spécifié dans son brevet lui était exclusivement acquise aux termes de la loi anglaise. Savery s'opposa donc à l'autorisation sollicitée par Newcomen. Un procès semblait inévitable pour vider la question soulevée entre les deux parties. Mais Newcomen et Cawley étaient quakers; en vertu des principes de leur secte, ils répugnaient à toute contestation, et surtout à un débat judiciaire. Ils proposèrent donc à Savery de le comprendre dans leur association, et, au lieu de courir les chances d'un procès pénible, de partager avec eux les bénéfices de l'exploitation future. L'offre fut acceptée, et comme Savery était à la cour sur le meilleur pied, il obtint aisément du roi George la délivrance du brevet. C'est pour cela qu'en 1705 une *patente royale* fut délivrée aux trois associés, Newcomen, Cawley et Savery, pour la construction et l'exploition d'une machine à vapeur atmosphérique.

En proposant au capitaine Savery de le comprendre dans leur association, Newcomen et Cawley avaient peut-être aussi quelque arrière-pensée d'intérêt. Ils étaient tous les deux à peu près dépourvus de connaissances théoriques, et comme leur machine n'avait jamais été construite que sur de petits modèles, le concours d'un ingénieur aussi habile et aussi instruit que Savery ne pouvait leur être indifférent. Il paraît cependant qu'ils furent trompés dans ce calcul, car

peu de temps après nous voyons les deux artisans livrés à leurs propres ressources.

Vers la fin de l'année 1711, Newcomen et Cawley firent des propositions aux propriétaires de l'une des mines de houille de Griff, dans le comté de Warwick, pour en épuiser les eaux à l'aide de leur machine; cinquante chevaux étaient employés dans cette mine aux travaux de desséchement, ce qui occasionnait pour ce seul objet une dépense annuelle de plus de 22,000 fr. Cette proposition ne fut point agréée; mais les associés furent plus heureux six mois après, car ils réussirent à passer un marché avec un M. Back de Wolverhampton pour un épuisement analogue. Il ne s'agissait donc plus que de construire la machine. Mais Newcomen et Cawely n'étaient ni assez physiciens pour se laisser guider par la théorie, ni assez mathématiciens pour calculer l'action des diverses pièces et les proportions à donner à chacune d'elles. Ils étaient donc assez embarrassés pour l'exécution de leur marché. Heureusement ils se trouvaient près de Birmingham, à la portée d'un grand nombre d'ouvriers ingénieux et adroits. Grâce à leur concours, ils parvinrent à fabriquer convenablement les cliquets, les pistons et les soupapes dont la construction ne leur était jusque-là que très-imparfaitement connue. La machine, définitivement construite, fut installée à l'entrée de la mine, et commença à fonctionner.

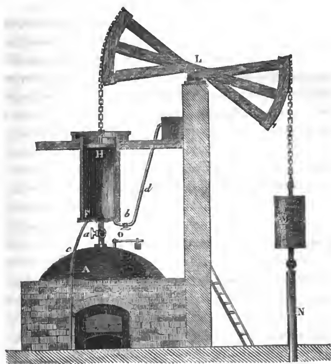
Elle marchait depuis quelques jours à peine, lorsque le hasard donna aux deux associés l'occasion d'y apporter une amélioration capitale, qui en augmenta la puissance dans une proportion inattendue. Un jour, la machine fonctionnant comme à l'ordinaire, on la vit

soudain accélérer ses mouvements et les coups de piston se succéder avec une vitesse tout à fait inusitée. Après bien des recherches, on découvrit la cause de cet heureux phénomène. Dans les premiers temps de la fabrication des machines à vapeur, on n'avait pas encore les moyens de construire des pistons et des cylindres assez bien ajustés pour qu'il n'existât aucun intervalle entre les parois intérieures du cylindre et celles du piston. Aussi, pour empêcher la vapeur de s'échapper par les interstices entre le piston et le cylindre, Newcomen avait dû recouvrir la tête du piston d'une légère couche d'eau qui pénétrait dans tous les vides, et les remplissait de manière à prévenir les fuites de vapeur. Or, en examinant le piston, un ouvrier reconnut qu'il se trouvait accidentellement percé d'un trou; c'était en tombant goutte à goutte, par ce trou, dans l'intérieur du cylindre, que l'eau froide, condensant plus rapidement la vapeur, accélérait, comme on l'avait observé, les mouvements du piston. Cette remarque porta ses fruits. La condensation de la vapeur s'opérait jusque-là en dirigeant un courant d'eau froide dans une enveloppe métallique qui entourait extérieurement le cylindre; cette enveloppe fut supprimée, et l'on condensa la vapeur en injectant une pluie d'eau froide dans l'intérieur même du cylindre à l'aide d'un tube se terminant en pomme d'arrosoir. Grâce à ce perfectionnement, la machine put donner huit à dix coups de piston par minute.

Amenée à cet état, la machine de Savery, Newcomen et Cawley, qui fut désignée généralement sous le nom de *machine de Newcomen*, se répandit rapidement en Angleterre, et fut adoptée dans presque toutes les

exploitations de mines; elle y remplaça l'ancienne pompe de Savery, et de nos jours encore dans certaines parties de l'Angleterre où le combustible n'a que peu de valeur, on la voit fonctionner avec un certain succès. Ainsi l'admirable conception de Papin était entrée d'une manière définitive dans le domaine de l'industrie

La figure suivante fera comprendre les divers éléments qui composent la machine de Newcomen.



Une chaudière A, munie d'une soupape de sûreté O, dirige sa vapeur dans l'intérieur du cylindre C qui la

surmonte. Le piston H qui parcourt ce cylindre est fixé, par une chaîne de fer, à l'une des extrémités d'un lourd balancier L, qui peut tourner sur son point d'appui; l'autre extrémité de ce balancier est munie d'une seconde chaîne supportant un contre-poids M et une longue tige N qui lui fait suite, et qui descend dans le puits de la mine pour y faire mouvoir les pompes destinées à l'épuisement des eaux. Quand la vapeur arrive dans l'intérieur du cylindre, elle soulève le piston de bas en haut, en surmontant l'effort de la pression atmosphérique; dès lors le contre-poids M s'abaisse en vertu de la pesanteur, il fait basculer le balancier qui achève de soulever le piston jusqu'au haut de sa course. Si l'on ferme alors le robinet *a* pour arrêter l'afflux de la vapeur venant de la chaudière, et qu'en même temps on ouvre le robinet *b* de manière à faire couler dans l'intérieur du cylindre un courant d'eau froide qui descend, par un tuyau *d*, du réservoir G, on détermine la condensation subite de la vapeur qui remplissait le cylindre. La condensation de la vapeur opère le vide dans cet espace, et dès lors le poids de l'atmosphère au-dessus du piston, n'étant plus contre-balancé au-dessous de lui par la tension de la vapeur, précipite jusqu'au bas de sa course le piston qui entraîne le balancier dans sa chute. Il suffit donc d'ouvrir alternativement les deux robinets *a* et *b* pour obtenir d'une manière continue les mouvements ascendant et descendant de la tige N. L'eau qui a servi à la condensation s'écoule hors du cylindre à l'aide d'une ouverture F et d'un tuyau *c*, muni d'un robinet que l'on ouvre de temps en temps. Comme l'effet de la machine dépend uniquement de la pression

exercée par l'air atmosphérique sur la tête du piston, on comprend que l'on peut obtenir une puissance motrice aussi grande qu'on le désire, en donnant à la surface du piston les dimensions convenables.

Tel est le mécanisme de la pompe à feu de Newcomen, dont le principe moteur est, à proprement parler, le poids de l'atmosphère, et qu'il faudrait, d'après cela, désigner sous le nom de *machine atmosphérique*, ou, si l'on veut, de *machine à vapeur atmosphérique*. Elle présente la plus remarquable application des travaux exécutés par les physiciens du XVIIe siècle sur la pesanteur de l'air et sur l'emploi de cette force motrice; il était donc nécessaire de rappeler l'histoire de ces travaux pour faire comprendre les dispositions primitives de la machine à vapeur.

CHAPITRE VII.

Perfectionnements apportés à la machine de Newcomen. — Progrès de la physique touchant la théorie de la chaleur. — Découverte du thermomètre. — Travaux de Black sur la chaleur latente et la vaporisation.

La pensée qui nous guide dans cette notice, c'est de montrer que la création des différents organes de la machine à vapeur fut toujours la conséquence et l'application des découvertes théoriques successivement réalisées dans la science. On a vu qu'avant l'institution de la physique moderne, rien de ce qui ressemble à la machine à vapeur n'avait été et n'avait pu être conçu. Mais dès que la physique, issue des grands

travaux de Galilée, commence à essayer ses premiers pas, dès le moment où les découvertes de Pascal et d'Otto de Guericke ont marqué ses brillants débuts, on voit ces faits passer immédiatement dans la pratique, et le génie de Papin s'en emparer presque aussitôt pour en tirer des applications mécaniques par la création d'un nouveau moteur. Cette liaison étroite qui se fait remarquer entre la situation de la science et les progrès de la machine à vapeur deviendra plus sensible et plus évidente encore à mesure que nous avancerons dans l'histoire de ses perfectionnements. Nous allons voir une période de plus de soixante années s'écouler sans apporter aucune amélioration aux principes mécaniques concernant l'emploi de la vapeur d'eau. L'explication de ce fait, qui a beaucoup étonné jusqu'ici, paraîtra fort simple, si l'on considère que, dans ce long intervalle, la théorie de la chaleur resta complétement stationnaire. Les physiciens, tout entiers à l'étude nouvelle et si remplie d'attraits des phénomènes électriques, n'avaient pas encore abordé l'examen des faits qui se rapportent à la chaleur; ce n'est que vers l'année 1760 que les théories de la vaporisation, de la condensation et du changement d'état des corps furent établies par Joseph Black. Aussi, durant cette longue suite d'années qui s'étend depuis la construction de la première machine atmosphérique par Newcomen, jusqu'aux travaux de Black en 1760, l'histoire de la machine à vapeur n'offre à signaler que des perfectionnements apportés à la partie exclusivement mécanique des appareils. Tout ce qui concerne le principe d'action de la machine reste entièrement en dehors de ces modifications se-

condaires, qu'il nous suffira dès lors de mentionner en quelques mots.

Le premier perfectionnement apporté au mécanisme de la pompe à feu est dû à une circonstance qu'il est assez curieux de connaître. Dans la machine telle que Newcomen l'avait construite, les deux robinets destinés à donner accès à la vapeur et à introduire l'eau de condensation dans l'intérieur du cylindre s'ouvraient et se fermaient à la main. Un ouvrier et souvent un enfant étaient chargés d'exécuter cette opération, et quelles que fussent leur habitude ou leur adresse, on ne pouvait obtenir ainsi plus de dix à douze coups de piston par minute; en outre, la moindre distraction de la part de l'apprenti, non-seulement retardait le jeu de la machine, mais pouvait compromettre son existence. En 1713, un enfant chargé de ce soin, contrarié, dit-on, de ne pouvoir aller jouer avec ses camarades, imagina un moyen de se soustraire à cette sujétion forcée. Il avait remarqué que l'un des robinets devait être ouvert au moment où le balancier a terminé sa course descendante, pour se fermer au commencement de l'oscillation opposée : la manœuvre du second robinet était précisément l'inverse. Les positions du balancier et du robinet se trouvant dans une dépendance nécessaire, l'enfant reconnaît que le balancier lui-même pourrait servir à ouvrir et à fermer les robinets. Son plan est aussitôt conçu et mis à exécution. Il attache à chacun des robinets deux ficelles de longueur inégale, et après de longs tâtonnements, il fixe leur extrémité libre à des points convenablement choisis sur le balancier; de telle sorte qu'en s'élevant ou s'abaissant par l'action

de la vapeur, le balancier ouvrait ou fermait lui-même les robinets au moment nécessaire. La machine put ainsi marcher sans surveillant, et l'apprenti s'en alla triomphalement rejoindre ses camarades. La tradition nous a conservé le nom de cet utile paresseux : il s'appelait Humphry Potter.

Le mécanicien Beighton substitua aux ficelles du jeune Potter des tringles de fer verticales. C'est en 1718 que Beighton établit à Newcastle une machine de Newcomen dans laquelle, pour la première fois, l'ouvrier chargé de faire manœuvrer les robinets fut remplacé par une tige métallique suspendue au balancier et faisant mouvoir un mécanisme très-simple qui exécutait cette opération. La machine put alors donner quinze coups par minute; mais l'idée première de charger le balancier lui-même d'exécuter ces mouvements revient à l'apprenti dont le nom est acquis à la postérité.

En 1758, le mécanicien Fitz-Gérald fit connaître, dans les *Transactions philosophiques*, le moyen de transformer le mouvement vertical de la machine atmosphérique en un mouvement rotatoire, par un système particulier de roues dentées et par l'addition d'un volant destiné à régulariser le mouvement. Mais la machine de Newcomen était uniquement consacrée à faire manœuvrer des pompes dans l'intérieur des mines; cette transformation du mouvement était donc superflue pour le seul objet auquel ce moteur était alors consacré : aussi la proposition de Fitz-Gérald n'eut-elle aucune suite.

L'emploi d'un flotteur imaginé par Brindley, vers 1760, pour régulariser l'entrée de l'eau d'alimentation

dans les chaudières, est un autre perfectionnement à signaler ici. Nous aurons terminé la revue des principales modifications apportées aux différentes pièces de la pompe à feu, si nous ajoutons que, dans plusieurs machines qu'il fut chargé de construire, l'ingénieur Smeaton parvint à perfectionner beaucoup la fabrication des pistons et des cylindres, et qu'il réussit de cette manière à éviter les pertes considérables de vapeur qu'occasionnaient les machines antérieures. D'utiles modifications apportées à la construction des chaudières et à la disposition du foyer permirent enfin d'économiser une certaine partie du combustible. Nous ne dirons rien des perfectionnements introduits par Smeaton dans la pompe de Savery, car cette dernière avait déjà presque partout cessé d'être en usage.

On le voit cependant, de toutes ces utiles modifications apportées à la machine atmosphérique, aucune ne touchait au principe même de son action, c'est-à-dire à la manière de mettre en jeu la force élastique de la vapeur. La machine de Newcomen, avec son énorme balancier et l'excessive consommation de combustible qu'elle exigeait, continuait de fonctionner en conservant l'ensemble des dispositions imaginées soixante ans auparavant par le serrurier de Darmouth. C'est que la théorie générale de la chaleur, et les théories particulières de la vaporisation et de la condensation qui en sont la conséquence, étaient encore à créer tout entières. Ce n'est que vers l'année 1694 que les premiers linéaments de la théorie du calorique furent tracés en France par la main de Guillaume Amontons. Ce physicien ingénieux et modeste, qui

eut le mérite de découvrir le principe de la télégraphie aérienne, est en effet l'auteur des premières vues raisonnables que l'on ait conçues sur la nature et les effets de la chaleur; c'est à lui que revient l'honneur d'avoir substitué une opinion sérieuse, fondée sur l'observation et l'expérience, aux divagations de l'ancienne physique concernant ces phénomènes. Amontons émit le premier l'idée vraie et profonde que les divers états de la matière, solide, liquide et gazeux, sont dus à l'existence, dans les corps, d'un fluide impondérable, qu'il désigna sous le nom de *calorique*. Par diverses expériences, exécutées avec la précision que pouvaient comporter les moyens d'observation de son époque, il constata les effets de dilatation que provoque dans les corps l'accumulation du calorique; il reconnut que l'air échauffé augmente de force élastique, et découvrit ce fait important, que l'eau se maintient à une température invariable quand elle a atteint le terme de son ébullition; en un mot, il procéda le premier par la voie de l'expérience à l'examen des phénomènes calorifiques.

Cependant un obstacle capital empêchait la théorie de la chaleur de s'établir sur des bases solides. Pour qu'une branche quelconque des sciences physiques puisse se constituer, se perfectionner ou s'étendre, il ne suffit pas qu'elle possède un certain nombre de faits, il faut encore qu'ils puissent être rapprochés et comparés entre eux; il faut que les effets, une fois produits, puissent être soumis à la mesure. Or, les phénomènes relatifs au calorique n'étaient alors susceptibles d'aucune comparaison, car aucun instrument de mesure n'était encore créé. A la vérité, les

physiciens possédaient depuis un siècle un petit appareil désigné sous le nom de *thermomètre;* mais c'est à tort qu'il portait ce nom, car il ne pouvait servir en aucune manière à mesurer et à comparer entre elles les différentes températures des corps; il permettait seulement d'apprécier une différence de température entre deux corps inégalement échauffés.

Les instruments qui nous servent à rechercher les lois de la nature étaient entachés, à leur origine, d'imperfections que l'on vit successivement disparaître devant les résultats de l'expérience. A l'exception du baromètre, qui conserve encore les dispositions et la forme que lui assigna Torricelli, tous les instruments d'observation ou de mesure physique, tels que le télescope, le microscope, la machine pneumatique, la machine électrique, la pile de Volta, etc., ont dû subir un très-grand nombre de transformations avant de recevoir la forme qu'ils présentent de nos jours. Le thermomètre offre particulièrement un exemple de ce fait; il a fallu deux siècles de travaux pour porter cet instrument au degré de perfection qui le distingue aujourd'hui.

On a revendiqué en faveur d'un grand nombre de savants la découverte du thermomètre : François Bacon, Fludd, Drebbel, Sanctorius, Galilée et Van Helmont même, ont été successivement honorés du titre d'inventeurs de cet instrument. Les idées insuffisantes et vagues qui présidèrent à sa construction, au XVIIe siècle, ne méritaient guère cependant d'être disputées entre des savants d'un tel ordre. Rien ne ressemble moins à un appareil de mesure que le thermomètre que les anciens physiciens ont employé. Le

premier de ces instruments, qui paraît avoir été construit par le Hollandais Cornélius Drebbel, se composait d'un simple tube de verre rempli d'air, fermé à son extrémité supérieure et plongeant par son extrémité ouverte dans un petit flacon qui contenait de l'acide azotique étendu d'eau. Selon la température extérieure, et par l'effet de la dilatation de l'air enfermé dans le tube, le liquide montait ou s'abaissait dans ce tube. L'instrument était muni d'une échelle divisée en parties égales; mais sa graduation, qui n'était fondée sur aucun principe déterminé, ne fournissait aucune indication comparable.

Un membre de l'Académie *del Cimento* de Florence perfectionna, vers le milieu du XVII[e] siècle, cet instrument grossier, sans réussir cependant à rendre ses degrés comparables. Le thermomètre de l'Académie *del Cimento* consistait simplement en un tube de verre purgé d'air et rempli d'alcool coloré; on le portait dans une cave et l'on marquait d'un trait le point où s'arrêtait le liquide; les portions du tube situées audessus ou au-dessous de ce trait étaient ensuite divisées en cent parties égales. Avec une division aussi arbitraire, ces instruments ne pouvaient s'accorder entre eux; deux thermomètres construits suivant cette même méthode parlaient chacun une langue différente. Cependant la physique se contenta durant un demi-siècle de cet instrument grossier [1].

[1] Dans ses expériences sur le *digesteur*, Papin ne se servit jamais du thermomètre. Pour évaluer la température de la vapeur qui remplissait l'appareil, il se contentait de laisser tomber une goutte d'eau sur le couvercle du *digesteur;* le nombre de secondes que cette goutte d'eau employait à s'évaporer lui

C'est un physicien de Pise, Renaldini, professeur à Padoue, qui reconnut le premier la nécessité de bannir du thermomètre toutes les mesures vagues et arbitraires adoptées jusque-là, et qui proposa de choisir, pour établir la graduation de l'instrument, des *points fixes* que l'on pût retrouver en toute occasion. Peu de temps après, Newton mit à exécution l'idée que le professeur de Padoue n'avait réalisée que d'une manière incomplète. L'illustre physicien donna, en 1701, dans les *Transactions philosophiques*, la description du premier thermomètre à indications comparables. Le liquide employé par Newton pour la mesure de la chaleur était l'huile de lin; les points fixes adoptés pour sa graduation étaient la température du corps humain pour le terme supérieur, et pour le terme inférieur, le point où s'arrêtait l'huile au moment de sa congélation que l'on provoquait en plongeant l'instrument dans de la neige. L'intervalle entre ces deux points fixes était divisé en douze parties, et la division prolongée au delà de ces deux limites. Le point d'ébullition de l'eau correspondait ainsi au degré 34, celui de la fusion de l'étain à 72, etc. Newton détermina, à l'aide de cet instrument, plusieurs termes de température dont la connaissance importait à la physique.

Cependant la faible dilatation de l'huile par l'action de la chaleur et sa congélation à une température modérée rendaient incertain et délicat l'emploi du

servait d'indice comparatif et de moyen de mesure pour déterminer approximativement la température de la vapeur. (Voyez *La manière d'amollir les os*, p. 12.)

thermomètre de Newton. C'est ce qui détermina Amontons à chercher un agent thermométrique plus sensible aux influences du calorique, et dans cette vue, le physicien français construisit un thermomètre à air. Le point fixe de cet instrument fut déterminé par la température de l'eau bouillante, qu'Amontons avait reconnue le premier comme un terme constant. Mais cet instrument présentait, dans la pratique, toutes les difficultés qui se rattachent à l'emploi du thermomètre à gaz, et qui dépendent surtout de la dilatation trop considérable que les fluides élastiques éprouvent par l'action de la chaleur. Il exigeait naturellement la correction de la hauteur barométrique, et de plus, comme il avait au moins quatre pieds de long, il était assez difficile à manier à cause de son poids et de sa fragilité.

Le problème de la construction d'un thermomètre comparable, exact, sensible et commode, présentait, on le voit, des difficultés de plus d'un genre, et ce ne fut qu'en 1714 qu'il fut à peu près résolu par un fabricant d'instruments de Dantzig, nommé Gabriel Fahrenheit. Dans ses premiers thermomètres, l'artiste allemand s'était servi d'alcool pour liquide thermométrique, mais il eut plus tard l'heureuse idée de choisir le mercure. Ce métal, employé comme agent de mesure pour la chaleur, réunit en effet toutes les conditions désirables : il n'entre en ébullition qu'à une température très-élevée, et peut servir, par conséquent, à mesurer la chaleur dans des termes fort étendus; il ne se congèle qu'à une température qui ne se réalise jamais dans nos régions; enfin, et c'est là le point capital pour son application comme agent

thermométrique, il se dilate uniformément, c'est-à-dire que son augmentation de volume est exactement proportionnelle, au moins dans une échelle très-étendue, à la quantité de calorique qu'il reçoit. Les points fixes choisis par Fahrenheit étaient l'ébullition de l'eau pour le terme supérieur, et pour le terme inférieur, le point auquel l'instrument s'arrêtait quand il le plongeait dans un mélange de sel ammoniac et de neige, dont il n'a jamais fait connaître, d'ailleurs, les proportions relatives. L'intervalle qui séparait ces deux points était divisé en deux cent douze parties, de telle sorte que le point de la congélation de l'eau correspondait à 32 degrés, celui de la température du corps humain à 96 degrés, et celui de l'ébullition de l'eau à 212 degrés. La plupart de ses thermomètres n'étaient pas gradués au delà de 96 degrés [1].

Le thermomètre de Fahrenheit fut immédiatement adopté en Angleterre et en Allemagne où il est encore en usage aujourd'hui. En France, on se servit de préférence du thermomètre construit, vers 1730, par Réaumur, qui choisit pour les deux points fixes le terme de la glace fondante et celui de l'ébullition de l'eau, et qui divisa l'entre-deux en quatre-vingts parties égales. Enfin Celsius, professeur à Upsal, construisit, en 1741, le thermomètre que nous connais-

[1] Cette division en 212 parties, en apparence assez arbitraire, avait été adoptée par Fahrenheit parce qu'il avait trouvé par expérience, que 11,124 parties de mercure, en volume, chauffées depuis le terme 0 jusqu'à l'eau bouillante, se dilataient au point d'en constituer alors 11,336, c'est-à-dire de présenter une dilatation de 212 parties en volume.

sons aujourd'hui sous le nom de *thermomètre centigrade* ou de *Celsius;* il partagea en cent parties égales l'intervalle entre les deux points fixes de la glace fondante et de l'ébullition de l'eau [1].

La physique possédait enfin un instrument qui permettait de mesurer les phénomènes calorifiques. On pouvait donc aborder l'étude des lois de la chaleur avec des moyens rigoureux d'observation, et grâce à leur emploi, la théorie du calorique ne tarda pas à se constituer.

C'est au physicien écossais Joseph Black, professeur à l'université de Glascow, que revient l'honneur d'avoir fondé la théorie générale de la chaleur. Après

[1] C'est le physicien Celsius qui détermina les physiciens à abandonner, pour la graduation du thermomètre, la considération du volume de la liqueur enfermée dans l'instrument et à s'en tenir aux points fixes sans avoir égard à la dilatation du liquide qu'il contient. Fahrenheit et Réaumur avaient, au contraire, établi la division de leur instrument en comparant la grandeur de chaque degré à la masse totale du liquide renfermé dans le réservoir. Ainsi, chaque degré de l'échelle du thermomètre à alcool de Réaumur indiquait que la liqueur s'était dilatée de un millième de son volume à zéro, et chaque degré du thermomètre de Fahrenheit représentait une dilatation de 1|212. Un Genevois nommé Ducrest avait émis cette idée une année avant Celsius; mais le point fixe qu'il avait choisi était fautif, puisqu'il l'avait déterminé en plaçant simplement l'instrument dans les caves de l'Observatoire de Paris. En choisissant pour le terme 0 le point de la glace fondante, Celsius donnait à son thermomètre un point fixe qui réunissait tous les avantages possibles par la certitude de ce terme, par sa constance et par la facilité de le reproduire en toute occasion. C'est donc au physicien suédois qu'il convient de faire honneur de la perfection que le thermomètre présente de nos jours.

avoir confirmé par l'expérience la vérité de l'opinion d'Amontons touchant la cause de l'état physique des corps, Joseph Black créa, par une suite d'observations et de mesures précises, la théorie du *calorique latent* et du *calorique spécifique*. La première de ces théories était appelée à jeter la plus vive lumière sur les phénomènes qui accompagnent la vaporisation des liquides et la condensation des vapeurs. Elle se résume presque tout entière dans l'expérience suivante exécutée par Black en 1762.

Si l'on prend 1 kilogramme d'eau à la température de 79 degrés et 1 kilogramme d'eau à la température de 0 degré, et qu'on les mêle, le thermomètre, plongé dans ce mélange, indique 39°,5', c'est-à-dire la moyenne entre les températures des deux liquides mélangés à poids égaux. Mais le résultat sera tout autre si, au lieu d'employer de l'eau liquide à 0 degré, on emploie de la glace, c'est-à-dire de l'eau présentant toujours la température de 0 degré, mais offrant la forme solide. Si l'on mêle, en effet, 1 kilogramme de glace à 0 degré et 1 kilogramme d'eau chauffée à 79 degrés, on observe que la glace se fond et que le mélange tout entier devient liquide. Mais si l'on prend la température du mélange, on reconnaît qu'au lieu de représenter, comme dans l'expérience précédente, la moyenne entre les deux températures, elle est seulement de 0 degré. Les 79 degrés de chaleur que renfermait le kilogramme d'eau ont ainsi disparu sans laisser de traces; seulement la glace s'est fondue et le mélange a pris la forme liquide. Que conclure de ce fait remarquable? C'est que le kilogramme de glace a dû absorber, pour se fondre,

les 79 degrés de chaleur qui ont disparu, et que cette quantité de calorique a été employée à déterminer sa fusion, puisque la température n'a pas varié. Ainsi 1 kilogramme d'eau solide a besoin, pour se liquéfier, d'absorber 79 degrés de chaleur; en d'autres termes, 1 kilogramme d'eau liquide diffère d'un même poids d'eau solidifiée, en ce qu'elle contient 79 degrés de chaleur de plus que cette dernière. Mais cette chaleur n'est pas appréciable à nos organes, elle n'est pas accusée par le thermomètre; elle est latente, et c'est pour cela que Black, et avec lui tous les physiciens modernes, donnent le nom de *chaleur latente* à cette quantité de calorique que n'affecte pas le thermomètre, et qui est nécessaire pour provoquer le changement d'état des corps [1].

Les phénomènes qui s'observent pendant le passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide se reproduisent quand un liquide passe à l'état de vapeur. Pour se vaporiser, tous les liquides ont besoin d'absorber une quantité déterminée de calorique. Aussi la vapeur d'eau à 100 degrés diffère-t-elle de l'eau liquide à la même température en ce qu'elle renferme une quantité considérable de calorique dissimulé ou latent, qui la maintient à l'état de fluide élastique. En effet, lorsque la vapeur d'eau se condense, elle rend subitement libre tout le calorique latent qu'elle contenait, et cette quantité est très-considérable, puisque l'on a reconnu que 1 kilogramme de vapeur d'eau

[1] Quand l'eau se congèle elle met en liberté sa chaleur latente. On peut, en effet, constater, par l'expérience, qu'en se solidifiant, 1 kilogramme d'eau à 0 degré abandonne 79 degrés de chaleur.

à la température de 100 degrés met en liberté, en revenant à l'état liquide, une quantité de calorique suffisante pour porter à l'ébullition 5,35 kilogrammes d'eau à zéro.

Telles sont les simples et grandes vérités mises en évidence par les expériences de Joseph Black, et entièrement ignorées avant lui. On comprend sans peine de quelle utilité était la connaissance de ces faits pour le perfectionnement des machines mises en jeu par la force élastique de la vapeur. C'est avec leur secours qu'il fut permis dès ce moment de calculer la quantité de chaleur mise en liberté par la condensation d'un volume donné de vapeur dans le cylindre de la machine de Newcomen, d'expliquer les phénomènes qui accompagnent cette condensation, d'apprécier la force élastiqne de la vapeur à différentes températures; en un mot, d'étudier par la voie de l'expérience un grand nombre d'éléments pratiques qui jouent un rôle dans les effets de cette machine. Les découvertes de Black concernant le *calorique spécifique* c'est-à-dire la quantité de chaleur nécessaire pour élever d'un même nombre de degrés un poids donné des différents corps, apportérent à l'étude théorique de la machine à vapeur des éléments de la même importance.

Joseph Black, l'un des savants les plus remarquables du siècle dernier, n'a presque rien imprimé. Si l'on en excepte deux mémoires insérés dans les *Transactions philosophiques*, le seul témoignage écrit que l'illustre physicien nous ait laissé de ses travaux se réduit à son traité intitulé : *Expériences sur la magnésie, la chaux vive et les substances alcalines.* Pro-

fesseur depuis l'année 1754 à l'université de Glascow, et l'un des professeurs les plus habiles de cette université, alors si riche en hommes distingués, Joseph Black se contentait d'exposer dans ses cours le résultat de ses recherches. C'est ainsi que sa théorie du calorique latent fut développée chaque année, à partir de 1763, devant les nombreux élèves qui se pressaient à ses cours.

Parmi les personnes qui suivaient à cette époque les leçons de Joseph Black, se trouvait un jeune ouvrier mécanicien que la protection de l'université venait de tirer d'une position embarrassante. Appartenant à une famille honorable d'Écosse, ruinée par de mauvaises spéculations commerciales, il avait été forcé de renoncer à la carrière des sciences pour laquelle il avait manifesté dès son enfance des dispositions extraordinaires. A l'âge de seize ans, il avait été mis par ses parents en apprentissage à Greenock, sa ville natale, dans un petit atelier où l'on exécutait des compas, des balances, des cadrans solaires, et quelques appareils de physique. A l'âge de vingt ans, on l'avait envoyé à Londres chez un constructeur d'instruments de navigation. Mais la faiblesse de sa santé et une grave maladie qu'il avait contractée en travaillant pendant toute une journée d'hiver près de la porte de l'atelier, l'avaient obligé de quitter Londres. Pour essayer les effets de l'air natal, il était revenu en Écosse, et s'était rendu à Glascow avec l'intention d'y exercer sa profession de constructeur d'appareils de mathématiques. Mais la corporation d'arts et métiers de la ville, s'appuyant sur d'antiques priviléges, s'était obstinément opposée à ce qu'il ou-

vrit à Glascow le plus humble atelier. Le jeune artiste se trouvait donc dans une situation assez pénible, lorsque l'université intervint en sa faveur, et, pour terminer la difficulté, lui accorda le titre de son constructeur d'appareils de physique. Elle lui permit en même temps d'ouvrir une petite boutique dans un local de ses bâtiments. Il fut convenu que tout en s'occupant de réparer ou de construire les appareils de l'université, il pourrait travailler pour le public aux divers objets de sa profession. Le nom qui fut inscrit sur l'humble enseigne de sa pauvre boutique était alors profondément inconnu, mais il était destiné à traverser les siècles : c'était le nom de James Watt.

CHAPITRE VIII.

James Watt.—Ses découvertes concernant la machine à vapeur. — Ses expériences théoriques. — Découverte du condenseur isolé. — Machine à simple effet. — James Watt et le docteur Roebuck. — Association de Boulton et de Watt. — Nouvelles découvertes de Watt pour l'application de la machine à vapeur aux usages généraux de l'industrie.— Machine à double effet.— Parallélogramme articulé. — Application de la manivelle à la transformation du mouvement. — Régulateur à force centrifuge. — Découverte de l'application de la détente de la vapeur.

En arrachant le jeune Watt aux tracasseries de ses confrères, les professeurs de Glascow croyaient seulement s'être attaché un ouvrier adroit et d'un commerce agréable; mais ils ne tardèrent pas à reconnaître qu'ils avaient mis la main sur un homme supérieur. Les bril-

lantes qualités intellectuelles du fabricant de l'université furent promptement appréciées, et bientôt son étroite boutique devint le lieu préféré où se rencontrait chaque jour tout ce que Glascow pouvait réunir d'hommes instruits et d'élèves studieux. L'un de ses contemporains, le docteur Robison, va nous faire connaître le rôle que jouait le jeune ouvrier mécanicieu dans ce cercle de talents distingués : « Quoique élève encore, dit l'auteur du *Philosophical magazine*, j'avais la vanité de me croire assez avancé dans mes études favorites de mécanique et de physique, lorsqu'on me présenta à Watt. Aussi, je l'avoue, je ne fus pas médiocrement mortifié en voyant à quel point le jeune ouvrier m'était supérieur. Dès que dans l'université une difficulté nous arrêtait, et cela quelle qu'en fût la nature, nous courions chez notre artiste. Une fois provoqué, chaque sujet devenait pour lui un texte d'études sérieuses et de découvertes. Jamais il ne lâchait prise qu'après avoir entièrement éclairci la question proposée, soit qu'il la réduisît à rien, soit qu'il en tirât quelque résultat net et substantiel. Un jour, la solution désirée sembla exiger la lecture de l'ouvrage de Leupold, sur les machines : Watt apprit aussitôt l'allemand. Dans une autre circonstance et pour un motif semblable, il se rendit maître de la langue italienne... La simplicité naïve du jeune ingénieur lui conciliait sur-le-champ la bienveillance de tous ceux qui l'approchaient. Quoique j'aie assez vécu dans le monde, je suis obligé de déclarer qu'il me serait impossible de citer un second exemple d'un attachement aussi sincère et aussi général accordé à quelque personne d'une supériorité incontestée. Il

est vrai que cette supériorité était voilée par la plus aimable candeur, et qu'elle s'alliait à la ferme volonté de reconnaître libéralement le mérite de chacun. Watt se complaisait même à doter l'esprit inventif de ses amis de choses qui n'étaient souvent que ses propres idées présentées sous une autre forme [1]. »

Les choses en étaient là, lorsque dans l'hiver de l'année 1763, le professeur de physique de la classe de philosophie naturelle du collége de Glascow envoya à James Watt un modèle de la machine de Newcomen, avec prière de le réparer. A cette époque, le développement considérable que l'industrie commençait à prendre en Angleterre avait répandu dans tous les esprits le goût des connaissances scientifiques, et dans la plupart des universités on avait eu la bonne pensée de seconder ces dispositions en adjoignant aux études littéraires l'exposition des éléments de la mécanique appliquée. Le collége de Glascow possédait à cet effet la collection de toutes les machines en usage dans l'industrie, et l'on voyait figurer dans ses galeries un très-beau modèle de la machine de Newcomen. Mais en raison de certains défauts de construction, ce modèle n'avait jamais pu bien fonctionner, et le professeur Anderson chargea le jeune constructeur de l'université de le mettre en état de servir aux démonstrations de son cours. Telle fut la circonstance qui amena James Watt à s'occuper pour la première fois de la machine à vapeur, dans laquelle, nouveau Christophe Colomb, il devait découvrir tout un monde.

James Watt se mit à réparer la machine du collége

[1] Arago, *Éloge historique de James Watt*, page 266.

de Glascow, mais quand tout fut terminé et qu'il essaya de la faire fonctionner, il reconnut qu'elle pouvait à peine soulever le piston. En augmentant l'activité du feu on obtenait quelques oscillations, mais alors il fallait employer, pour condenser la vapeur, une énorme quantité d'eau froide. Ce défaut tenait à un vice de proportion entre les dimensions du cylindre et celles de la chaudière : celle-ci était trop petite relativement à la capacité du corps de pompe, et elle ne pouvait fournir qu'une quantité de vapeur insuffisante pour mettre le piston en jeu. Watt diminua la longueur du cylindre et dès lors la machine put marcher avec une certaine régularité.

Mais il y avait dans cette machine d'autres défauts beaucoup plus sérieux et qu'il était impossible de faire disparaître, parce qu'ils tenaient au principe même sur lequel reposait tout le mécanisme. La pompe à feu de Newcomen présente un vice de la dernière gravité. Lorsque l'eau d'injection afflue dans le corps de pompe, elle condense immédiatement la vapeur qui le remplit, ce qui permet à l'atmosphère, qui pèse sur la tête du piston, de le précipiter jusqu'au bas de sa course; mais l'eau froide, une fois en contact avec les parois du cylindre échauffées par la vapeur, les refroidit aussitôt, et lorsqu'ensuite une nouvelle quantité de vapeur arrive sous le piston, pour le soulever, cette vapeur est nécessairement ramenée en partie à l'état liquide en touchant les parois froides du cylindre. Une grande partie de la vapeur envoyée par la chaudière est donc perdue puisqu'elle est uniquement employée à réchauffer le corps de pompe. James Watt constata que le modèle de Glascow usait

à chaque oscillation du piston un volume de vapeur plusieurs fois supérieur au volume du cylindre, ce qui amenait la perte de plus de la moitié du combustible employé. Un second défaut qui était inhérent à la machine de Newcomen, c'est que l'eau injectée dans le corps de pompe pour y condenser la vapeur, s'échauffait elle-même en s'emparant du calorique latent de la vapeur condensée; dès lors cette eau échauffée fournissait des vapeurs, ce qui rendait le vide imparfait. La résistance que le piston rencontrait dans la machine de Glascow, par suite de cette dernière circonstance, était équivalente, selon James Watt, au quart de la pression atmosphérique.

Après avoir reconnu les vices de la machine de Newcomen, Watt pensa qu'il ne serait pas impossible de parer à ses défauts. Mais pour réaliser les perfectionnements dont cet appareil lui semblait susceptible, il fallait commencer par fixer sa théorie avec exactitude. C'est dans ce but que le jeune artiste se décida à entreprendre une série d'expériences relatives à la théorie des divers phénomènes sur lesquels repose l'emploi de la vapeur dans la pompe à feu de Newcomen. Il détermina donc par expérience la quantité de vapeur que fournit un poids donné de charbon dans une machine de ce genre. Il rechercha ensuite, d'une manière générale, le volume de vapeur que produit un certain volume d'eau porté à l'ébullition, et il reconnut ainsi qu'un volume d'eau liquide fournit environ 1,700 volumes de vapeur. Ce fut en se servant de simples fioles à l'usage des pharmaciens que Watt parvint à fixer ce chiffre important, que les expériences des physiciens modernes, exécutées avec

toute la précision et la rigueur de nos méthodes actuelles, n'ont pu que légèrement modifier. Watt détermina également la quantité de chaleur mise en liberté par la condensation d'un certain volume d'eau, et c'est ici que la théorie de Black sur la chaleur latente lui devint d'une haute utilité. Étonné de la grande quantité d'eau froide qu'il fallait injecter dans le cylindre de Newcomen pour y condenser la vapeur, et frappé de la chaleur considérable que cette eau empruntait au faible volume de vapeur contenu dans le cylindre, il cherchait inutilement à s'expliquer la cause de ce phénomène : « J'en parlai alors, dit-il, à mon ami le docteur Black, qui me développa à cette occasion sa doctrine du *calorique latent*, dont il avait conçu l'idée quelques années auparavant. Absorbé moi-même par mes travaux et mes propres recherches, j'avais pu entendre parler de cette nouvelle doctrine sans y donner toute l'attention qu'elle méritait, jusqu'au moment où je me vis ainsi arrêté devant l'un des principaux faits sur lesquels repose cette admirable théorie [1]. » Guidé par les vues de Joseph Black, Watt put déterminer la quantité d'eau froide qu'il fallait injecter dans le cylindre d'une pompe de Newcomen de dimensions connues pour obtenir une condensation parfaite, et le volume de vapeur qu'une pareille machine dépense à chaque oscillation du piston. Enfin, comme la force élastique de la vapeur s'accroît avec la température, il essaya, sans prétendre cependant résoudre en entier une

[1] Addition de Watt à l'article *Steam engine* du *Philosophical magazine* de Robison, t. II, p. 117.

question si difficile, de déterminer la force élastique de la vapeur correspondant à chaque degré de chaleur.

Ainsi le pauvre fabricant d'instruments de l'université de Glascow se trouvait sérieusement lancé à la poursuite du grand problème du perfectionnement de la machine de Newcomen, question qui commençait alors à occuper un grand nombre d'ingénieurs distingués. En effet, malgré tous ses défauts et la dépense énorme de combustible qu'elle entraînait, la pompe de Newcomen était déjà très-répandue en Angleterre. Employée dans un grand nombre de mines de houille à l'épuisement des eaux, elle y remplaçait les moteurs anciennement en usage, et elle avait contribué à faire sortir cette branche importante de l'industrie britannique de l'état précaire où elle avait longtemps langui. Il était donc facile de prévoir de quelle importance serait pour l'avenir du pays une modification de cette machine qui, tout en ajoutant à la puissance de ses effets, permettrait d'économiser une grande partie du combustible. Watt embrassa d'un coup d'œil toute la portée de la tâche qu'il allait entreprendre; mais les travaux de sa profession absorbaient la plus grande partie de ses moments et l'empêchaient de suivre ses expériences avec l'attention et les soins nécessaires; il prit donc la résolution de s'y consacrer tout entier.

Une circonstance nouvelle le décida à hâter l'exécution de ce projet. Il s'occupait avec ardeur des travaux de son atelier, pour venir en aide à sa famille que de nouveaux revers venaient de réduire à un état voisin de la misère. La seule distraction qu'il se per-

mettait, c'était de se rendre le dimanche dans une maison de campagne située aux environs de Glascow et habitée pendant la belle saison par un de ses oncles, M. Miller. Or, M. Miller avait une fille de dix-huit ans. Le cœur d'un mécanicien n'est pas plus qu'un autre fermé aux séductions de l'amour. James Watt s'éprit de la jeunesse, des charmes et des qualités aimables de sa cousine, et sa demande ayant été agréée, il épousa miss Miller en 1764.

Cette union, en lui assurant une certaine aisance, le détermina à fermer le petit atelier qu'il occupait dans les bâtiments de l'université de Glascow. Il s'établit dans l'intérieur de la ville avec l'intention d'y exercer la profession d'ingénieur civil, et de s'occuper en même temps de ses recherches sur le perfectionnement de la machine de Newcomen. Les heureuses qualités de miss Miller exercèrent sur les travaux de James Watt la plus heureuse influence. Quoique doué au suprême degré du génie de la mécanique, le célèbre constructeur avait dans le caractère une indolence assez marquée. Celui qui, sur la fin de sa carrière, disait : « Je n'ai connu que deux plaisirs, la paresse et le sommeil, » avait besoin de ce doux et secret empire qu'exerce le cœur d'une femme aimée pour réveiller et tenir en haleine son insoucieux génie. Cette influence ne tarda pas à se manifester, car ce fut en 1765, un an après son mariage, que Watt, donnant enfin un corps aux idées qui depuis longtemps flottaient dans son esprit, réalisa la première et peut-être la plus importante de ses découvertes, celle du *condenseur isolé*.

On a vu que le vice capital de la machine de Newcomen consistait dans la nécessité de refroidir et de

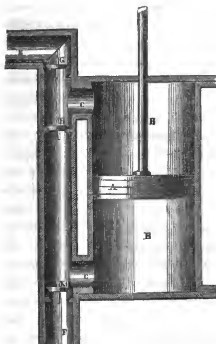
réchauffer alternativement le cylindre pour y opérer la condensation de la vapeur : le refroidissement du corps de pompe, par suite de l'injection de l'eau froide, faisait perdre l'effet utile des trois quarts du combustible employé. Le problème, regardé jusque-là comme insoluble par tous les ingénieurs, de condenser la vapeur sans refroidir le corps de pompe, fut complétement résolu, grâce à l'idée admirable qui vint à l'esprit de James Watt, de condenser la vapeur dans un vase isolé, séparé du cylindre et ne communiquant avec lui que par un tube. On conçoit, en effet, que si, au moment où le corps de pompe est rempli de vapeur, on donne tout d'un coup issue à cette vapeur, en ouvrant un robinet qui lui donne accès dans un vase continuellement entretenu à une basse température par un courant d'eau froide, toute la vapeur se précipitera dans l'intérieur de ce vase en raison de son expansibilité; le vide sera même obtenu de cette manière avec beaucoup plus de rapidité, car la condensation de la vapeur appellera presque instantanément dans le second vase toute la vapeur qui remplissait le corps de pompe. Ainsi la condensation pourra s'opérer sans que jamais le cylindre soit refroidi; une économie considérable de vapeur, et par conséquent de combustible, sera du même coup réalisée. Le vase isolé qui remplit cet important objet porte le nom de *condenseur*.

Mais il restait une autre difficulté, c'était de se débarrasser de la grande quantité d'eau employée pour refroidir le condenseur. Watt la surmonta en établissant dans l'intérieur de ce vase une pompe à eau mue par le balancier de la machine elle-même, et qui

épuisait l'eau contenue dans ce réservoir à mesure qu'elle avait servi à opérer la condensation. On perdait ainsi une partie de la force de la machine qui était employée à faire jouer cette pompe; mais la perte était peu de chose relativement à celle que déterminait auparavant la condensation d'une grande partie de la vapeur sur les parois refroidies du cylindre.

Par l'addition du condenseur isolé, Watt apportait à la machine de Newcomen une modification capitale; il y diminuait de plus de moitié la dépense du combustible. Mais la machine ainsi modifiée reposait encore sur le même principe : c'était toujours la *machine atmosphérique* dans laquelle la force motrice était fournie par le seul poids de l'air s'exerçant sur la tête du piston. Par une invention postérieure, il changea complétement le principe moteur de cette machine. Bannissant toute intervention de la pression atmospherique, il fit dépendre uniquement ses effets de la force élastique de la vapeur. Quelques détails sont nécessaires pour faire comprendre cette disposition nouvelle qui diffère complétement du système de Newcomen. La figure suivante permettra d'expliquer comment la force élastique de la vapeur fut mise à profit dans ce nouveau système qui reçut le nom de *machine à simple effet*.

Le cylindre B est fermé à sa partie supérieure par un couvercle métallique percé d'une ouverture garnie d'étoupes grasses et bien pressées, de manière à laisser librement monter et descendre la tige du piston, en interceptant tout passage à la vapeur et à l'air extérieur. La vapeur qui arrive de la chaudière par un large tuyau E s'introduit par l'ouverture C dans le haut



du cylindre; là, exerçant sa pression sur la face supérieure du piston, elle le fait descendre jusqu'au bas de sa course. Comme le vide existe dans la partie inférieure du cylindre par suite de sa libre communication avec le condenseur, aucune résistance ne peut s'opposer à l'abaissement du piston. Si maintenant, au moment où le piston est arrivé au bas du corps de pompe, on ferme les soupapes G et K, et que l'on ouvre la soupape H, on met en communication le haut et le bas du cylindre; la vapeur, qui auparavant n'occupait que la partie supérieure du cylindre, peut communiquer librement, à l'aide du tuyau HK et de l'ouverture D, avec sa partie inférieure; ainsi le piston, qui tout à l'heure ne se trouvait pressé que par sa face supérieure, se trouve maintenant soumis sur ses deux faces à une égale pression. Or comme celle de Newcomen, la machine à simple effet porte un balan-

cier dont le poids est augmenté par l'addition d'une masse pesante, ainsi qu'on le voit dans la figure de la machine de Newcomen (page 151); ces poids soulèvent le piston, et le ramènent jusqu'au haut de sa course. On comprend que si l'on ferme maintenant la soupape H de manière à ne permettre à la vapeur que d'arriver à la partie supérieure du cylindre, tandis que la soupape K, ouverte, laisse écouler la vapeur dans le condenseur, la force élastique de la vapeur doit précipiter de nouveau le piston à la partie inférieure du corps de pompe. Si alors on fait de nouveau communiquer entre elles les capacités supérieure et inférieure du corps de pompe, par l'action de la même cause le même effet recommence, le piston remonte pour s'abaisser de nouveau, etc. Ainsi le simple jeu de ces trois soupapes provoque le mouvement continu de la tige du piston.

Par ce nouvel et ingénieux emploi de la force élastique de la vapeur d'eau, Watt créa, on peut le dire, la véritable machine à vapeur. La machine de Newcomen ne méritait, à proprement parler, que le nom de *machine atmosphérique,* car la pesanteur de l'air était le seul élément auquel sa force fût empruntée. Pour la première fois on tirait la puissance motrice de l'unique action de la vapeur; il serait donc jusqu'à un certain point permis d'attribuer à l'ingénieur de Glascow l'invention de la machine à vapeur moderne.

Les expériences multipliées auxquelles il devait se livrer pour arriver à de si importants résultats, Watt les exécutait dans un modeste atelier installé au rez-de-chaussée de sa maison, avec le secours d'un petit nombre d'ouvriers, confidents discrets de ses espé-

rances et de ses travaux. Le modèle dont il se servit pour essayer le jeu des divers organes de sa machine consistait en un cylindre de cuivre de moins de deux pouces de diamètre auquel une chaudière fournissait de la vapeur, qui s'introduisait, à l'aide d'un tube bifurqué, au-dessus et au-dessous de la tête du piston. Les robinets se tournaient à la main. Le condenseur était simplement formé de deux tuyaux d'étain de dix pouces de longueur, disposés verticalement, et venant aboutir à un tuyau d'un diamètre plus grand qui plongeait dans un bassin d'eau froide. Pour juger définitivement le jeu des divers organes de sa machine, Watt la fit exécuter en grand avec tous les éléments nouveaux qu'il avait imaginés. C'est à cette occasion qu'il fit pour la première fois usage de l'enveloppe de bois entourant le cylindre, communément appelée *chemise du corps de pompe*, et qui a pour effet de prévenir les pertes de chaleur, et par conséquent de vapeur, que le cylindre éprouve par suite de son rayonnement dans l'air. Par cet artifice, il parvint à diminuer encore très-sensiblement la dépense du combustible.

Ainsi la machine à vapeur était désormais complète. A la machine atmosphérique, dont les découvertes de Torricelli, de Pascal et d'Otto de Guericke avaient fait naître l'idée, que le génie de Papin et la sagacité de Newcomen avaient transportée dans la pratique, Watt substituait une machine infiniment supérieure par l'intensité de ses effets, et qui devait son principe à la seule force de la vapeur d'eau. Sous le rapport de la puissance et de l'économie, les avantages de ce nouveau moteur étaient de nature à dépasser toutes

les espérances. Il ne restait donc plus qu'à le transporter dans la pratique industrielle. Mais l'auteur de tant de découvertes admirables n'avait aucune des qualités nécessaires pour faire comprendre à des capitalistes, obligés par état à beaucoup de défiance, toute la portée d'une invention nouvelle. Watt, assez insouciant par caractère, détestait l'exagération de promesses qui sont familières aux inventeurs de tous les rangs; il ne prenait aucune peine pour faire apprécier son mérite. D'ailleurs, il n'était pas encore entièrement satisfait des résultats qu'il avait obtenus; il rêvait des perfectionnements nouveaux, et répugnait à faire connaître ses idées avant d'avoir produit tout ce qu'il en espérait. Enfin les périls des entreprises industrielles avaient de quoi effrayer la timidité de son esprit, il hésitait à risquer ses faibles ressources sur cette mer trop fertile en naufrages. Une circonstance fortuite put seule le décider à céder aux instances de ses amis.

Quoique voué tout entier aux travaux de son art, Watt était cependant assez répandu dans le monde où le faisaient rechercher ses qualités agréables et la gaieté de son humeur. Nourri de bonne heure de toute espèce de lectures, doué d'une mémoire prodigieuse, d'une parole facile et d'une imagination intarissable, il n'avait pas tardé à acquérir à Glascow la réputation d'un causeur accompli. Aussi sa maison était-elle le rendez-vous de tous les personnages distingués de la cité. Outre son ami le docteur Black, on trouvait chez lui, Adam Smith, le célèbre auteur des *Recherches sur la cause des richesses des nations*; Robert Simson, le patient restaurateur des ouvrages mathématiques

des anciens, et divers littérateurs ou artistes qui aimaient à jouir des charmes et des profits de sa conversation. C'est par là que le docteur Roebuck fut amené à lier quelques relations avec James Watt. Roebuck, riche gentilhomme anglais, fondateur de la célèbre usine de Carron, se distinguait du reste des capitalistes par son esprit et sa bonne humeur. Il fut présenté à Watt et fréquenta sa maison. Le hasard d'un entretien amena ce dernier à lui communiquer les modifications qu'il avait apportées à la machine de Newcomen. Le capitaliste anglais était lancé à cette époque dans des spéculations assez difficiles pour l'exploitation des mines de houille et des salines de Borrowstones, dans le comté de Linlithgow. Comprenant toute la portée des inventions de Watt, il lui offrit immédiatement les capitaux nécessaires pour les exploiter : il proposait de se charger de toutes les dépenses, à la condition d'obtenir les deux tiers des bénéfices de l'entreprise. Le marché accepté, James Watt commença à construire à Kinneil, aux environs de Borrowstones, une pompe à feu qui fut placée à l'entrée d'un puits de mine, pour y servir à l'épuisement des eaux. Comme cette machine n'était qu'une sorte de dernier essai, Watt lui fit subir différentes modifications, jusqu'à ce qu'elle eût atteint un haut degré de perfectionnement. Pour s'assurer alors la propriété exclusive de ses inventions, il s'occupa d'obtenir un brevet qui lui assurât le privilége de la construction des machines à vapeur modifiées. Ce brevet lui fut accordé en 1769 [1].

[1] Le texte intéressant du brevet de James Watt est rapporté dans la Note II du 3me volume.

James Watt faisait ses dispositions pour créer un vaste établissement consacré à la construction des machines à vapeur, lorsque, à la suite de spéculations manquées, la fortune du docteur Roebuck vint à recevoir de graves atteintes qui l'obligèrent d'abandonner son entreprise. Watt, envers qui il se trouvait débiteur d'une somme assez importante, eut la générosité de rompre l'association et de le libérer de tout engagement. Ensuite, avec une modestie, une sérénité admirables, il reprit paisiblement le cours de ses occupations d'ingénieur. Pendant quatre ans il se consacra exclusivement aux travaux de cette profession. Il traça les plans et dirigea la construction d'un canal destiné à porter à Glascow le charbon des mines de Monkland. Il dressa les projets de divers autres canaux et se livra à des études relatives à certaines améliorations des ports d'Ayr, de Glascow et de Greenock. Il construisit les ponts d'Hamilton et de Rutherglen, et s'occupa enfin de l'exploration des terrains à travers lesquels devait passer le canal calédonien. L'homme de génie à qui le monde allait devoir, dans un délai prochain, les plus brillantes créations de la mécanique moderne, ne dédaignait pas de s'employer aux plus médiocres travaux d'un conducteur des ponts et chaussées. Un coup terrible, qui vint le frapper à cette époque, contribua encore à écarter de son esprit les grands projets qui l'avaient un instant séduit. Pendant qu'il se trouvait retenu par ses travaux dans le nord de l'Écosse, il eut la douleur de perdre sa douce et tendre compagne. Tout entier à ses regrets, Watt n'accordait plus une pensée à ses anciens travaux; il semblait avoir oublié qu'il tenait

dans ses mains la richesse future et presque les destinées de son pays. Heureusement ses amis ne l'oubliaient pas.

En 1774, on réussit enfin à triompher de ses répugnances, et on le décida à se mettre en rapport avec le célèbre industriel Matthieu Boulton, de Birmingham. Boulton possédait le génie de l'industrie autant peut-être que Watt celui de la mécanique; il avait la réputation du plus riche, du plus habile et du plus entreprenant manufacturier de l'Angleterre. L'établissement qu'il avait fondé peu d'années auparavant à Soho, près de Birmingham, pour la fabrication de toutes sortes d'euvrages de fer, d'acier, d'argenterie et de plaqué, était un des plus importants et des mieux tenus du royaume. A peine eut-il connaissance des modifications apportées à la machine à vapeur par l'ingénieur de Glascow, qu'il en devina tout l'avenir et n'hésita pas à mettre sa fortune entière à la disposition de l'inventeur. Il passa avec James Watt un acte d'association et fit aussitôt construire une première machine de proportions considérables qui fut établie dans son usine de Soho, afin que le public pût être témoin de ses effets. Mais le brevet d'exploitation, pris en 1769 par James Watt, n'avait plus que quelques années à courir; on s'adressa donc au parlement pour en obtenir la prolongation. Grâce au crédit et à l'activité de Boulton, le parlement consentit, non cependant sans de longues difficultés, à prolonger le privilége. En 1775, contrairement aux dispositions qui régissent les brevets, on accorda à Boulton et à Watt un nouveau privilége de vingt-cinq ans de durée, en considération du mérite éminent des inven-

tions de l'auteur, attesté par les savants les plus recommandables de Londres. Boulton et Watt purent alors se lancer hardiment dans la carrière brillante qui s'ouvrait devant eux.

Par le genre particulier et surtout par la diversité de leur esprit, Boulton et Watt semblaient avoir été, chacun de son côté, créés tout exprès pour mener à bien une entreprise de cette nature. « M. Watt, dit Playfair, était réservé, studieux, et fuyait le monde; au lieu que M. Boulton était un homme remuant, actif, intelligent, très-répandu dans la haute société, et cependant ennemi des façons et sachant se mettre à l'aise avec les hommes de toutes les classes. Quand M. Watt aurait cherché par toute l'Europe, il n'aurait pu trouver personne aussi propre à produire ses inventions d'une manière aussi digne de leur mérite et de leur importance. Quoique tous deux fussent de mœurs tout à fait différentes, il semblait que le ciel les eût faits l'un pour l'autre, car on ne vit jamais, dans le commerce ordinaire de la vie, plus d'harmonie qu'il n'en régnait entre ces deux hommes [1]. »

Le brevet obtenu, Boulton convertit une partie de son établissement de Soho en ateliers consacrés à la fabrication des machines à vapeur. On fit constater par des expériences authentiques, exécutées sous les yeux des propriétaires et des actionnaires des mines, l'économie réalisée par la nouvelle pompe à feu installée à Soho; il fut reconnu qu'à égalité d'effet, elle réduisait des trois quarts la dépense du combustible consommé par la machine de Newcomen. Bientôt,

[1] *Memoirs by Playfair* (*Monthly magazine*, 1819).

grâce au système établi par Boulton, pour l'exécution des différentes pièces mécaniques, plusieurs machines à feu, destinées à l'épuisement des mines, se trouvèrent construites et prêtes à fonctionner. C'est alors que l'on fut témoin, en Angleterre, d'un phénomène industriel qui probablement ne se reproduira jamais, et qui faisait également honneur à l'audace du spéculateur et au génie du mécanicien. Boulton et Watt ne vendaient pas leurs machines, ils les donnaient à qui voulait les prendre; ils se chargeaient même de les monter et de les entretenir à leur frais; quant aux anciennes machines de Newcomen, on les reprenait à un prix bien au-dessus de leur valeur. Boulton avança de cette manière jusqu'à 47,000 liv. st. (1,175,000 fr.) avant de songer à effectuer une seule rentrée. Toute la redevance qu'il réclamait des propriétaires des mines, c'était *le tiers de la somme annuellement économisée sur le combustible.*

Devant de telles offres, les propriétaires des mines ne pouvaient hésiter longtemps. Les machines de Watt commencèrent à être adoptées dans le Cornouailles où le prix élevé du charbon les rendait doublement précieuses. Elles se répandirent de là dans la plupart des comtés houillers de l'Angleterre, et les associés commencèrent à réaliser d'importants bénéfices. En effet, la combinaison imaginée par Boulton, avec toutes les apparences d'une générosité exemplaire, avait cependant pour résultat de porter le prix des machines à un taux exorbitant. On en jugera par un exemple. Dans les mines de Chacewater, où l'on employait trois pompes à feu, les propriétaires payaient annuellement à Boulton et Watt, pour le

tiers du combustible économisé, la somme de 60,000 fr. [1].

Les propriétaires des mines, qui d'abord avaient accepté cette combinaison avec reconnaissance, ne purent se résigner longtemps à voir les associés toucher des droits si élevés. Ils ne considéraient pas que le tribut qu'ils payaient annuellement n'était que la moitié de la somme qu'ils consacraient autrefois à l'achat du combustible. Ils mettaient de jour en

[1] « Afin d'obtenir, dit Robert Stuart, des données positives pour l'évaluation de cette espèce de tribut, une série d'expériences fut entreprise par des hommes d'une habileté et d'une probité reconnues. Étant donnés la profondeur de la mine, le diamètre des corps de pompe, et le nombre des coups de piston avec une machine quelconque, ordinaire ou perfectionnée, il ne leur restait plus qu'à apprécier l'économie de combustible pendant un certain nombre de coups de piston, et ce prix devenait la base sur laquelle ils établissaient leurs calculs. Pour compter le nombre des coups de piston, on adapta au balancier un petit appareil consistant en un système de roues renfermées dans une boîte disposée de façon que chacun des mouvements ascendants ou descendants du balancier faisait avancer d'un pas les petites roues, ainsi qu'un petit index qui indiquait cette progression. Ce petit appareil s'appelait le *compteur*. Deux clefs seulement pouvaient l'ouvrir, dont l'une restait entre les mains des propriétaires de la machine, l'autre dans celles de MM. Watt et Boulton, qui avaient un commis-voyageur chargé de reconnaître de temps à autre la situation des choses. On ouvrait en présence des deux parties les *compteurs*, et le tribut à prélever se trouvait déterminé par le nombre des coups de piston donnés. Ce prélèvement annuel, toutefois, pouvait être racheté par le payement d'une somme une fois donnée, égale au produit de dix années. Il y avait différentes manières de disposer le compteur et de le faire marcher. » (*Histoire descriptive de la machine à vapeur*, p. 190.)

jour plus de répugnance à s'acquitter, et bientôt des procès nombreux vinrent menacer sérieusement le sort de l'entreprise de Boulton. On s'appuyait sur de prétendus perfectionnements apportés aux appareils de Watt, pour se déclarer affranchis de toute redevance; on allait fouiller les bibliothèques pour y découvrir des titres d'antériorité contre lui et demander la déchéance de ses brevets. Le grand argument consistait à prétendre que Watt avait été bien suffisamment rétribué de ses peines, pour un homme qui, en fin de compte, n'avait inventé que des idées. C'est ce qui amena devant le tribunal cette apostrophe d'un avocat : « Allez, messieurs, allez vous frotter à ces prétendues idées abstraites, à ces combinaisons intangibles, ainsi qu'il vous plaît d'appeler nos machines; elles vous écraseront comme des mouches, elles vous lanceront dans les airs à perte de vue! »

Cependant l'imperfection que présentait à cette époque la loi anglaise concernant les brevets laissait une large prise à la mauvaise foi et à la fraude. Il régnait en outre, dans l'esprit des juges, beaucoup de préventions et de défiance contre les brevetés; leurs seigneuries déployaient un zèle et une ardeur infatigables pour découvrir des vices de forme dans les brevets de James Watt, et pour chercher dans le texte d'anciennes lois des dispositions opposées à son privilége. Aussi en dépit de l'évidence de leurs droits, James Watt et Boulton furent-ils battus en cour de justice.

Cet échec était grave; il redoublait l'audace et les prétentions des plagiaires. Des capitalistes qui n'auraient pas osé enfreindre ouvertement les brevets de

James Watt, encouragés par ce premier succès, s'employaient activement à faire délivrer à des hommes sans crédit des brevets nouveaux spécifiant quelque modification insignifiante; puis, armés de ces pièces suspectes, ils venaient battre en brèche, devant le tribunal, les réclamations des associés. Ces difficultés chaque jour renaissantes, et qui devenaient de plus en plus compliquées, auraient été de nature à déconcerter un autre homme que James Watt. Mais il était sorti vainqueur, durant sa vie, de combats plus difficiles, il ne recula pas devant ces luttes nouvelles. Il se décida à abandonner pour quelque temps la surveillance de ses ateliers, et alla à Londres mener, au milieu des gens d'affaires et des hommes de justice, l'existence agitée du plaideur. Pendant huit années consécutives le génie du grand mécanicien fut détourné de ses voies naturelles, et dans ce long intervalle il eut, malheureusement pour nous tous, le temps de devenir un légiste accompli. Le succès vint enfin couronner ses efforts, mais l'heure de la justice avait été longue à sonner. Ce ne fut qu'en 1799, trente-cinq ans après ses premières découvertes, que libéré définitivement par une décision de la cour du roi, il fut remis en possession entière de son privilége. Seulement, comme le terme de son brevet expirait l'année suivante, cette satisfaction était presque dérisoire. C'est ce qui faisait dire gaiement à James Watt, qu'il se félicitait d'habiter un pays dans lequel il ne faut que trente-cinq ans de discussion et une douzaine de procès pour assurer à un citoyen la récompense de son travail.

Vers l'année 1776, à peu près déchargé du trop

long ennui des contestations judiciaires, James Watt put revenir à ses travaux accoutumés, et dès lors il se voua sans réserve à la solution du problème capital qui depuis plusieurs années ne cessait de se poser dans son esprit. La machine à vapeur n'avait été jusque-là consacrée qu'à l'épuisement de l'eau dans les mines ; il voulait transformer la puissance dont il s'était rendu maître en un moteur susceptible de recevoir toutes les applications que peut exiger l'industrie : il avait créé la *pompe à feu*, il fallait créer un moteur universel. Ce grand problème, son génie devait le résoudre de la manière la plus absolue dans son principe général et dans ses détails les plus délicats, grâce à une série de découvertes nouvelles dont il nous reste à exposer les éléments.

On a vu que dans la machine *à simple effet* (p. 159), dans laquelle James Watt substituait à la pression atmosphérique la seule puissance de la vapeur, l'action motrice ne s'exerce réellement que pendant l'élévation du piston; l'oscillation descendante est simplement déterminée par le contre-poids attaché au balancier qui fait retomber le piston, lorsque la pression de la vapeur est rendue égale sur ses deux faces. Il y avait donc dans le jeu de cette machine une interruption d'action très-manifeste. Cet inconvénient n'avait qu'une faible importance quand il ne s'agissait que d'élever les eaux; l'exploitation des mines pouvait parfaitement se contenter de ces dispositions. Mais pour l'application de la machine à vapeur à tous les usages de l'industrie, ce défaut n'était aucunement tolérable. Le travail égal et continu des manufactures exigeait que la force motrice pût s'exercer aussi bien

pendant l'ascension que pendant la chute du piston; il fallait obtenir de la machine une continuité d'effet. Watt parvint à atteindre ce résultat important par un moyen des plus simples. Au lieu de se borner à faire agir la vapeur sur la tête du piston, il la dirigea alternativement au-dessus et au-dessous de celui-ci, de manière à provoquer par la seule action de la vapeur son élévation et sa chute. Il établit les communications entre le cylindre et le condenseur, de telle sorte que la vapeur contenue dans la capacité située au-dessus du piston s'écoulait dans le condenseur au moment même où le piston était arrivé au bas de sa course; dès lors la vapeur arrivant au-dessous du piston pour le soulever ne rencontrait aucune résistance capable de contrarier son effet, puisque par suite de la condensation de la vapeur qui remplissait naguère la partie supérieure du cylindre, un vide parfait existait dans cette capacité. Cette nouvelle disposition de la machine à vapeur rendait son mécanisme parfait; les contre-poids énormes que l'on avait employés jusque-là pour équilibrer le piston devenaient ainsi inutiles, et pour la première fois on put débarrasser la machine de ces lourdes masses qui formaient le balancier de Newcomen. On put également faire disparaître les quantités considérables de fer ou de bois que l'on employait dans la construction de certaines pièces de la machine pour adoucir ses mouvements. La *machine à double effet* exécute dans le même temps le double d'ouvrage que la machine à simple effet; mais elle dépense deux fois plus de vapeur. L'avantage réside donc uniquement dans la succession plus rapide de ses effets, circonstance de

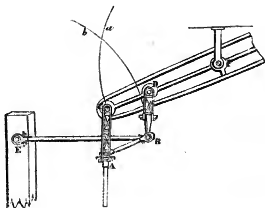
la plus haute utilité, lorsque la machine est destinée à servir de moteur d'une application universelle.

Pour tirer parti de la force motrice développée par la machine à vapeur ainsi modifiée, il fallait de toute nécessité adopter une manière particulière de communiquer au balancier le mouvement du piston. Il est facile de comprendre, en effet, que le moyen employé dans la machine de Newcomen, dans laquelle la vapeur n'imprime qu'une impulsion de haut en bas, ne pouvait s'appliquer à la machine à double effet, qui fournit une impulsion de haut en bas et de bas en haut. Dans la machine de Newcomen, deux chaînes de fer fixées à ses deux extrémités, comme on le voit dans la figure (p. 151), suffisaient pour mettre le balancier en jeu. Dans l'oscillation descendante, le piston tirait le balancier par le secours de la chaîne; dans l'oscillation ascendante, c'était le balancier ou son contre-poids qui, au moyen de la seconde chaîne, faisait remonter le piston. Mais dans la machine à double effet, la pesanteur n'entre pour rien, c'est la vapeur seule qui fait monter et descendre le piston. Il fallait donc imaginer un autre procédé pour communiquer au balancier les deux mouvements ascendant et descendant; il fallait pour cela faire coïncider le mouvement de l'extrémité du balancier qui décrit un arc de cercle avec le mouvement rectiligne de la tige du piston.

Dans ses premières machines, Watt s'était contenté de garnir la partie de la tige du piston qui s'élève au dehors du corps de pompe, d'une série de dents qui engrenaient dans une roue dentée. Cette sorte de crémaillère constituait le procédé le plus simple pour

transmettre le mouvement; mais indépendamment de son peu d'élégance, elle ne manœuvrait qu'avec grand bruit et était sujette à se déranger, surtout quand on voulait imprimer au mouvement une seconde direction. Watt remplaça ce mécanisme élémentaire par un appareil plus compliqué et qui porte le nom de *parallélogramme articulé.*

La figure suivante représente les éléments et le jeu de cet ingénieux appareil. La figure ABCD constitue un parallélogramme susceptible de prendre toutes sortes de positions à l'aide de tourillons ou charnières placés à chacun de ses angles. La ligne BE représente un levier rigide articulé en B avec le parallélo-



gramme et relié en E à un centre fixe autour duquel il peut tourner en décrivant un arc de cercle. L'extrémité de la tige du piston est fixée à l'un des angles A du parallélogramme. Quand le balancier CF est poussé en haut par l'élévation de la tige du piston à

laquelle il est attaché, il tend à se mouvoir suivant la ligne courbe *Ca*. Mais la tige EB, à laquelle il est relié par l'intermédiaire du côté DB du parallélogramme tend à l'entraîner dans la direction de la ligne B*b* du cercle qu'elle décrit. Si la position du centre E est convenablement choisie, il résulte de la combinaison de ces deux mouvements que la tige AC, ou le prolongement de la tige du piston, sollicitée suivant les deux directions C*a* et B*b*, suit une direction intermédiaire qui n'est autre chose qu'une ligne à peu près droite CA. Ainsi la partie CA se meut toujours verticalement, et elle agit pour mettre en mouvement le balancier, soit que le piston, en s'élevant, ait pour effet de le pousser en haut, ou en s'abaissant, ait pour résultat de le tirer en bas.

Tel est le principe du curieux mécanisme imaginé par James Watt en 1784 pour transmettre au balancier le mouvement du piston. Quelques dispositions différentes ont été adoptées plus tard pour la construction de cet appareil, mais elles n'ont rien changé au principe général sur lequel repose son mécanisme.

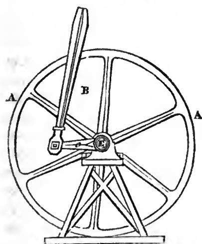
La force une fois commodément transmise au balancier, il fallait s'occuper de transformer le mouvement de *va-et-vient* de ce balancier en un mouvement de rotation propre à faire marcher une roue et à s'adapter par conséquent à tous les usages auxquels un moteur peut être consacré. Le mécanicien Stewart avait tenté, sans y réussir, d'employer dans cette vue des roues à rochet. Watt résolut le problème d'une manière beaucoup plus heureuse, par une simple application de la manivelle du remouleur. « Des nombreux projets, dit James Watt, qui me passèrent

par la tête, aucun ne me parut si propre à me conduire au but que je me proposais d'atteindre, que l'application d'une simple manivelle dans le genre de celle dont se sert le remouleur, et qu'il fait mouvoir avec le pied : invention de grand mérite, et dont on ne connaît ni la date ni le modeste inventeur. »

L'appareil imaginé par Watt pour appliquer la manivelle du remouleur à la transformation du mouvement rectiligne de la tige du piston en un mouvement rotatoire, donna les meilleurs résultats. Mais il arriva que l'un de ses concurrents, M. Wasbrough, en eut connaissance par suite de l'infidélité d'un ouvrier, et qu'il s'empressa de prendre un brevet spécifiant l'application de la manivelle au mécanisme de la machine à vapeur. Watt avait jugé inutile de prendre un brevet pour un moyen connu depuis un temps immémorial et qui se trouve employé dans tous les rouets des fileuses et dans toutes les roues des remouleurs. Il aurait sans peine prouvé judiciairement que l'on ne pouvait interdire à personne l'usage d'un artifice aussi banal. Il trouva plus simple d'arriver au même but par une autre voie, et il inventa l'appareil connu en Angleterre sous le nom *du soleil et des planètes*, assemblage de roues dentées qui réalise un mouvement rotatoire. Mais cet appareil, délicat à construire, coûteux et sujet à se déranger, fut abandonné par Watt dès que l'expiration du brevet de M. Wasbrough lui permit de revenir à l'emploi de la manivelle.

La manivelle et le volant, qui, dans les machines actuelles, servent à transformer le mouvement rectiligne de la tige du piston en un mouvement circulaire,

sont représentés dans la figure ci-jointe. B est la bielle



ou tige qui descend de l'extrémité du balancier; elle s'articule avec la manivelle C dont le bras est lié au centre E de la roue ou volant A, et peut tourner avec lui. Lorsque le balancier s'abaisse par suite du mouvement du piston, il abaisse en même temps la manivelle et fait tourner le volant, dont la vitesse acquise le fait élever au-dessus du centre E; alors le balancier, en se relevant par le second coup de piston, communique son mouvement au volant et lui fait achever de décrire le cercle : un mouvement de rotation continu est donc produit par cet artifice fort simple.

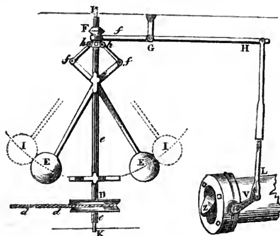
Une force considérable et une continuité d'effet ne sont pas les seules conditions que doit réunir une machine destinée à devenir d'un usage général comme moteur. Pour la plupart des industries auxquelles elle doit s'appliquer, la régularité, l'égalité d'action sont tout aussi importantes que l'intensité de la force. Or, tout le monde voit que l'effet mécanique produit par la machine à vapeur présente une irrégularité excessive. Le degré de sa puissance dynamique dépend en effet du nombre de coups de piston qu'elle

frappe dans un temps donné; or, ceux-ci varient nécessairement selon que le feu est activé ou ralenti dans le foyer. Une force qui s'engendre par des pelletées de charbon jetées sous une chaudière doit naturellement présenter dans son intensité les plus grandes variations. C'est à ce défaut si grave qu'il importait de parer. Rien de plus aisé à comprendre que les simples et admirables dispositions que le génie de Watt imagina pour y porter remède.

Admettons que, dans l'intérieur du tuyau destiné à introduire dans le cylindre la vapeur fournie par la chaudière, on dispose une sorte de soupape ou plaque métallique mobile, susceptible de fermer ce tuyau ou de le laisser ouvert, de manière à suspendre ou à rétablir à volonté la communication entre la chaudière et le cylindre; selon que cette plaque mobile sera plus ou moins ouverte, une quantité de vapeur plus ou moins grande sera admise dans le corps de pompe : cette soupape donnera donc le moyen de modérer et de régler le jeu de la machine, puisque, en augmentant ou en diminuant la quantité de vapeur qui arrive dans le cylindre, elle aura pour effet d'augmenter ou de diminuer le nombre des coups de piston. Cette soupape, Watt est parvenu, par un artifice des plus ingénieux, à la faire manœuvrer par la machine elle-même; de telle sorte que, lorsque les mouvements du piston sont trop précipités, la machine ferme en partie cette soupape et réduit ainsi la quantité de vapeur introduite; si, au contraire, les coups de piston se ralentissent, elle dilate la soupape, et admettant ainsi dans le cylindre une plus grande quantité de vapeur, elle augmente, dans la proportion

nécessaire, l'intensité des effets mécaniques. L'appareil qui sert à obtenir ce curieux et remarquable effet était désigné par James Watt sous le nom de *gouverneur*. Il en trouva l'idée dans un petit mécanisme employé depuis longtemps dans les moulins à farine pour écarter ou rapprocher les meules et régulariser ainsi leur mouvement.

La figure suivante fera comprendre le jeu de cet appareil de Watt, que l'on désigne aujourd'hui sous le nom de *régulateur à force centrifuge*.



dd est une corde ou une chaîne sans fin qui embrasse une poulie D tournant autour de la tringle verticale DF, qui est elle-même mobile et tourne autour des points fixes I, K. EE sont deux boules métalliques fixées à l'extrémité de deux leviers brisés. Ces leviers sont coudés au point où ils touchent la tringle D, et, au moyen de deux articulations ou charnières *ff*, ils se rattachent à deux autres leviers plus courts *fh*, attachés eux-mêmes à une espèce de cylindre F glissant

librement de haut en bas sur la tringle verticale *e*. Ce petit cylindre est lié lui-même au levier horizontal FH, qui a son point d'appui en G, et qui porte à son extrémité une bielle ou tige verticale HL, qui fait mouvoir, à l'aide d'une manivelle V, la soupape ou plaque mobile Z qui est destinée à régler l'entrée de la vapeur dans le cylindre.

Voici maintenant le jeu de ces différentes pièces. Lorsque le balancier marche avec le degré de vitesse convenable, les boules de métal, par l'intermédiaire de la corde *dd* qui se trouve liée à l'arbre de la machine, tournent autour de la tringle avec la position représentée dans la figure. Mais si le mouvement vient à s'accélérer, il se transmet à la tringle par la corde de la poulie, et dès lors, les globes, entraînés par la force centrifuge, s'écartent et prennent la position représentée par les circonférences pointées I, I. Cet écartement des boules a pour effet nécessaire l'abaissement des petits leviers *fh*, ainsi que du cylindre F et de l'extrémité du levier horizontal FH qui vient y aboutir; par suite, l'extrémité H de ce dernier levier s'élève, elle entraîne alors dans son mouvement la tige HL qui, au moyen de la manivelle V, ferme en partie la soupape Z, et diminue ainsi la quantité de vapeur introduite dans le cylindre. Si, au contraire, le mouvement de la machine vient à se ralentir, il se produit dans le jeu des mêmes pièces des effets inverses des précédents : les boules, tournant avec moins de rapidité, se rapprochent l'une de l'autre, et, par suite du mouvement des leviers auxquels elles sont liées, la soupape Z s'ouvre davantage et laisse pénétrer dans le corps de pompe une plus grande quantité de va-

peur, ce qui accélère aussitôt les mouvements du piston. C'est donc à bon droit que cet ingénieux appareil est désigné sous le nom de *régulateur*.

Telle est l'efficacité de ce curieux mécanisme que, selon M. Arago « on voyait, il y a peu d'années, à Manchester, dans la filature de coton d'un mécanicien de grand talent, M. Lee, une pendule mise en action par la machine à vapeur, et qui marchait, sans trop de désavantages, à côté d'une pendule ordinaire à ressort. »

La dernière des découvertes de Watt est relative à l'emploi de la détente de la vapeur, conception des plus remarquables, dont l'honneur revient tout entier au célèbre mécanicien, bien qu'il n'en ait jamais tiré lui-même un parti étendu. Quelques explications sont nécessaires pour bien comprendre en quoi consiste le phénomène de la détente de la vapeur, qui fournit dans les machines modernes les résultats les plus remarquables sous le rapport de l'économie.

Si le robinet qui sert à introduire la vapeur dans le cylindre reste ouvert pendant toute la durée du mouvement ascendant ou descendant du piston, celui-ci arrivera à l'extrémité de sa course avec une vitesse toujours croissante, et qui aura pour résultat d'imprimer à toutes les pièces de la machine un choc et un ébranlement fâcheux. Mais si, au lieu de laisser le robinet d'admission ouvert pendant toute la durée de l'oscillation du piston, on le ferme lorsque celui-ci est parvenu seulement au tiers ou à la moitié de sa course, la quantité de vapeur ainsi introduite suffira pour produire le refoulement du piston, car la vapeur, se dilatant dans le vide à la manière d'un gaz, continuera

de presser le piston, qui, en raison, d'ailleurs, de sa vitesse acquise, arrivera aisément à l'extrémité de sa course. Ainsi une moindre quantité de vapeur sera employée pour faire marcher la machine. En agissant de cette manière, la vapeur ne pourra pas évidemment produire un effet dynamique aussi puissant que si elle agissait à pleine pression pendant toute la durée de la course du piston, mais aussi la quantité de vapeur dépensée ne sera que la moitié ou le tiers de celle qu'on aurait employée en opérant à pleine pression. Pour reconnaître si cette disposition présente des avantages, il suffit donc de savoir si, par ce moyen, la dépense du combustible est réduite dans un plus grand rapport que l'effet produit. Or, c'est ce que l'expérience a parfaitement établi.

L'emploi de la vapeur avec détente, introduit depuis quelques années dans la plupart de nos machines, a permis de réaliser une économie considérable de combustible, et selon M. Arago, « de très-bons juges placent la détente, quant à la dépense économique, sur la ligne du condenseur. » Cependant Watt ne l'a utilisée que vers 1782, dans un petit nombre de machines, et son objet principal, dans l'emploi de ce moyen, était seulement de modérer la vitesse de la chute du piston, et de rendre uniforme le mouvement accéléré qui lui est propre lorsque la vapeur agit à pleine pression.

Par cette belle série de découvertes, dont aucune n'avait été le produit du hasard, mais qui résultaient toutes de persévérantes recherches, Watt avait donc définitivement résolu ce grand problème du moteur universel tant cherché depuis un siècle. Un simple

ouvrier mécanicien, sans fortune et sans études, s'emparant d'une machine imparfaite, et qui depuis cinquante ans fonctionnait sans progrès notable, l'avait transformée en un agent moteur d'une force presque sans mesure et d'une application illimitée. En raison du principe sur lequel elle repose, sa puissance motrice était incalculable; grâce aux artifices employés pour en modérer et en régulariser l'action, elle pouvait servir aux usages les plus variés et les plus délicats. Aussi quelques années suffirent pour couvrir de ces précieux appareils le sol de l'Angleterre. Dans les grands centres manufacturiers, tels que Birmingham, Manchester, Liverpool, etc., la machine à vapeur fut appliquée au cardage de la laine et du coton, à la fabrication des draps et de tous les tissus de fil, de coton ou de soie. Par son secours, l'importante industrie des mines de houille ne tarda pas à étendre ses bénéfices dans une proportion extraordinaire. Elle fut ensuite employée dans les usines métallurgiques, à marteler, à laminer le fer, le cuivre et le plomb, à étirer en fil le fer et l'acier; on l'appliqua à tous les travaux hydrauliques, au sciage métallique du bois, à la fabrication du papier, de la porcelaine et de la faïence, à l'impression des livres, à la préparation et au broiement des couleurs destinées à la teinture; en un mot, à presque toutes les branches de l'industrie britannique.

Un chiffre suffira pour faire connaître l'économie prodigieuse que l'emploi de la machine à vapeur permit de réaliser dans les opérations industrielles. Selon M. Arago, un boisseau de charbon brûlé dans les machines à vapeur du Cornouailles qui fonction-

nent avec la détente produit l'ouvrage de vingt hommes travaillant dix heures. Or, dans les comtés houillers de l'Angleterre, un boisseau de charbon coûte environ 90 centimes. La machine de Watt permettait donc, en Angleterre, de réduire le prix d'une journée d'homme, de la durée de dix heures, à moins d'un sou de notre monnaie. Après un tel résultat, on est moins surpris d'apprendre que, suivant des relevés authentiques, les machines à vapeur qui existent aujourd'hui en Angleterre remplacent à elles seules le travail de trente millions d'hommes.



CHAPITRE IX.

Dernières années de James Watt.



Ces machines admirables qui devaient exercer une influence si extraordinaire sur la prospérité de la nation britannique, Watt les faisait exécuter sous ses yeux dans l'immense établissement de Soho. C'est de là que partaient tous les puissants appareils qui allaient fonctionner dans les diverses parties des trois royaumes. La manufacture de Soho était pour les Anglais une sorte d'école des ponts et chaussées; c'était comme un établissement d'instruction pour les ingénieurs et les mécaniciens de la Grande-Bretagne. Les étrangers s'y rendaient aussi pour étudier le mécanisme des nouvelles machines dans la vue d'en transporter l'usage dans leur patrie. C'est ainsi que Betancourt, envoyé par le gouvernement espagnol, put

introduire dans son pays les premiers appareils de ce genre; l'habile ingénieur avait deviné le mécanisme de la machine à double effet à la seule inspection de son jeu extérieur. C'est encore de la même manière que l'aîné des frères Perrier, qui fit dans cette vue jusqu'à cinq voyages en Angleterre, put installer à Paris une machine à vapeur qui n'était autre chose qu'une imitation de la machine de Watt à simple effet. C'est la même machine qui fonctionne encore aujourd'hui sur les rives de la Seine pour la distribution des eaux, et qui est connue sous le nom de *pompe à feu de Chaillot.*

Watt continua de résider à Birmingham ou à Soho jusqu'au terme de son association avec Matthieu Boulton; leur société devait durer jusqu'à l'expiration du premier brevet de Watt. Ce brevet, concédé en 1775, pour un espace de vingt-cinq années, expirait en 1800. A cette époque, James Watt et Matthieu Boulton se séparèrent de la société; ils y furent remplacés chacun par son fils, et la nouvelle compagnie continue de diriger de nos jours l'admirable établissement dû à la persévérance et au génie de ses fondateurs.

En se retirant des affaires, James Watt vint se fixer dans une terre voisine de Soho, nommée Heathfield, dont il avait fait l'acquisition en 1790. Il passa ses derniers jours dans cette heureuse retraite, pratiquant les maximes de sa douce philosophie, jouissant du repos et des biens acquis pendant le cours de sa glorieuse carrière, éprouvant le bonheur ineffable d'être témoin de l'extension prodigieuse que prenait, par suite de ses travaux, la prospérité de sa patrie. Les

plaisirs et les relations de la société l'occupèrent exclusivement jusqu'à la fin de sa vie. Pendant qu'il résidait à Birmingham ou à Soho, il avait pris l'habitude de réunir autour de lui un petit cercle d'amis, parmi lesquels se remarquaient l'illustre chimiste Priestley, le poëte Darwin, le botaniste Withering, le chimiste Keir, traducteur de Macquer, M. Edgeworth, père de miss Maria Edgeworth, et quelques artistes ou littérateurs en renom. Cette petite académie portait le nom de Société lunaire (*lunar society*), titre sur lequel il est bon de ne pas prendre le change, et qui signifiait seulement que les académiciens se réunissaient les soirs de pleine lune afin d'y voir clair en rentrant chez eux. Watt rassembla à Heathfield les restes épars de sa petite académie, et c'est dans ce cercle distingué qu'il aimait à s'abandonner à sa verve de causeur et de conteur. Nul ne possédait ces talents à un plus haut degré. Il avait dévoré dans sa jeunesse tous les ouvrages de fiction et de poésie légère, et sa mémoire y retrouvait le texte d'inépuisables emprunts. A leur défaut, son imagination lui suggérait pendant des soirées entières toutes sortes de récits de fantaisie, que son air de conviction et l'assurance de son débit faisaient accepter comme autant de faits incontestables. Que d'anecdotes racontées dans les *Revues* anglaises et dans les *Magazine*, qui n'étaient que des jeux de l'imagination de Watt bénévolement transmis au public par ses auditeurs mystifiés! Un jour cependant, ayant étourdiment lancé les personnages de son récit dans une situation des plus compliquées, il éprouvait quelque embarras à les tirer de ce dédale. Darwin l'interrompant :

— Est-ce que, par hasard, M. Watt, vous nous raconteriez une histoire de votre cru?

Watt s'arrêta, et regardant son interlocuteur avec le plus grand sérieux :

— Votre question, monsieur Darwin, m'étonne au dernier point. Depuis vingt ans que j'ai le plaisir de passer mes soirées avec vous, est-ce que je fais autre chose? Est-il donc possible qu'on ait voulu faire de moi un émule de Robertson ou de Hume, lorsque toutes mes prétentions se bornaient à marcher sur les traces de la princesse Scheherazade [1].

[1] Ce talent singulier de conteur d'histoires faites à plaisir s'était manifesté chez James Watt dès les premières années de son enfance. M. Arago, dans son *Éloge historique*, en cite une preuve assez piquante : « L'esprit anecdotique que notre confrère, dit M. Arago, répandit avec tant de grâce, pendant plus d'un demi-siècle, parmi tous ceux dont il était entouré, se développa de très-bonne heure. On en trouvera la preuve dans ces quelques lignes que j'extrais, en les traduisant, d'une note inédite rédigée en 1708 par madame Marion Campbell, cousine et compagne d'enfance du célèbre ingénieur :

« Dans un voyage à Glascow, madame Watt confia son jeune « fils James à une de ses amies. Peu de semaines après elle re- « vint le voir, mais sans se douter assurément de la singulière « réception qui l'attendait. Madame, lui dit cette amie dès qu'elle « l'aperçut, il faut vous hâter de ramener James à Glascow, je « ne puis endurer l'état d'excitation dans lequel il me met ; je « suis harassée par le manque de sommeil. Chaque nuit, quand « l'heure ordinaire du coucher de ma famille approche, votre « fils parvient adroitement à soulever quelque discussion dans « laquelle il trouve toujours le moyen d'introduire un conte « qui, au besoin, en enfante d'autres. Ces contes pathétiques ou « burlesques ont tant de charme, tant d'intérêt, ma famille tout « entière les écoute avec une si grande attention, qu'on enten- « drait une mouche voler. Les heures ainsi succèdent aux heu-

Ces heureuses réunions sur lesquelles l'esprit aimable et les grâces enjouées du vieillard savaient répandre tant de charmes étaient encore animées par la présence de la femme distinguée à laquelle il avait donné son nom. James Watt s'était décidé, après quelques années de veuvage, à épouser la fille d'un fabricant du comté. Les goûts éclairés, le jugement solide et les connaissances sérieuses de mademoiselle Mac-Gregor avaient surtout contribué à fixer son choix. Les premières relations s'étaient établies autour d'une table à thé, dans l'une des soirées de Watt. On avait parlé de Shakspeare et de Racine, et Watt avait défendu l'auteur de Macbeth contre le poëte d'Athalie prôné par mademoiselle Mac-Gregor. La discussion amena un échange de lettres, et le mariage s'ensuivit. Les précieuses qualités de madame Watt rendaient sa maison doublement chère à ses amis : nulle part, en effet, la science du bon accueil n'était mieux entendue.

La littérature et les événements du jour n'étaient pas cependant la seule matière des entretiens. Comme on le pense, la science avait son tour, et la chère mécanique n'était pas oubliée. Le génie fertile de Watt y trouvait quelquefois de soudaines occasions de s'exercer avec profit. Un jour Darwin entrant chez lui :

— Je viens d'imaginer, dit-il, certaine plume à deux becs, à l'aide de laquelle on écrira chaque chose deux

« res sans que nous nous en apercevions ; mais le lendemain je « tombe de fatigue. Madame, ramenez, ramenez votre fils chez « vous. »

fois, et qui donnera ainsi d'un seul coup l'original et la copie d'une lettre.

— J'espère trouver une meilleure solution, répliqua James Watt. J'y penserai ce soir, et je vous communiquerai demain le résultat de mes réflexions.

Le lendemain, la presse à copier les lettres était inventée.

C'est de cette manière qu'il imagina la curieuse machine qui permet d'obtenir par des moyens très-simples la reproduction d'une statue, d'un bas-relief ou d'un buste. Cette invention intéressante fut réalisée dans les dernières années de James Watt. Il en distribuait les produits à ses amis, en les priant d'accepter « cette œuvre d'un jeune artiste qui ne fait que d'entrer dans sa quatre-vingt-troisième année. »

Ainsi le feu de son heureux génie, qui s'était fait jour dès les premiers instants de sa jeunesse, brillait encore aux derniers temps de sa vie. Il faut connaître, pour ne point s'en étonner, le caractère et les qualités spéciales de l'esprit de James Watt. Le célèbre ingénieur avait reçu en partage le don rare et précieux de l'imagination. C'est par une vue très-fausse et très-mal justifiée que l'on s'accorde généralement à resserrer le rôle de l'imagination dans le domaine exclusif des lettres et des beaux-arts. Cette heureuse faculté préside plus qu'on ne le pense aux créations scientifiques. Pour se lancer, dans les hautes régions de la science, à la recherche de l'inconnu ; pour marcher, par des sentiers nouveaux, vers ces horizons voilés que l'avenir nous dérobe, il faut souvent suivre des yeux l'étoile inspiratrice qui brille au firma-

ment des poëtes. C'est en s'écartant des règles établies, en s'élançant par une vue souveraine hors du cercle étroit des opinions communes, qu'un homme supérieur s'élève aux grandes conceptions qui immortalisent son génie. Watt en fournirait au besoin un éclatant exemple. Il avait reçu de la nature la faculté de l'imagination, et il eut la fortune de préserver ce don brillant du dangereux contact de l'éducation des écoles. Son humble origine, les modestes occupations de sa jeunesse eurent pour résultat d'éloigner de son esprit les règles absolues et les tranchantes formules de l'enseignement classique. S'il eût pris sa part de l'instruction banale qui se débitait à l'université d'Oxford, il serait devenu sans doute un professeur érudit; livré à lui-même, il devint le premier mécanicien de son temps. Il est reconnu que James Watt n'avait aucune de ces connaissances obligées et communes qui font le mathématicien savant; on assure qu'il n'avait jamais résolu une équation d'algèbre; comme Fergusson, il se contentait de l'emploi des procédés géométriques, et c'était même son amusement favori de représenter par des figures de géométrie les tables numériques qu'il avait besoin de consulter pour établir les proportions de ses machines. Les traités de mécanique étaient le seul genre d'ouvrages dont il se refusât la lecture; on aurait dit que son intelligence avait besoin d'être affranchie de toute direction étrangère. Il ne communiquait à personne ses idées, et quand il avait imaginé quelque appareil nouveau, c'est à peine s'il s'occupait d'en surveiller l'exécution ou de prendre des avis, comme s'il avait eu la conviction secrète que son esprit n'avait jamais

plus de puissance que quand il était entièrement livré à lui-même. Les idées sortaient de son esprit comme pousse l'herbe des champs sur un terrain vigoureux. On lui demandait un jour si la découverte d'un parallélogramme articulé lui avait coûté beaucoup de calculs et d'efforts de tête : « Non, répondit-il, et j'ai même été très-surpris de la perfection de son jeu. En le voyant fonctionner pour la première fois, j'éprouvais autant de plaisir que si j'avais examiné l'invention d'une autre personne. » Il a dit lui-même en donnant le récit de ses découvertes relatives au perfectionnement de la machine de Newcomen : « L'idée une fois conçue d'opérer la condensation hors du cylindre, toutes les autres améliorations s'effectuèrent avec une incroyable rapidité; tellement que, dans l'espace d'un ou deux jours, mon plan fut parfaitement arrangé dans ma tête, et que, pour en faire l'essai, je le mis tout de suite à exécution. » Aussi avait-il l'habitude de considérer toutes ses inventions comme le résultat de pensées tellement simples qu'elles auraient pu se présenter à tout autre qu'à lui; il ajoutait qu'il avait été seulement assez heureux pour les soumettre le premier à l'expérience. Et cette déclaration était sincère de tout point.

Cette organisation intellectuelle si remarquable permettait à James Watt de s'occuper avec succès d'objets dont il n'avait aucune idée. Pendant qu'il résidait à Glascow, Darwin vint un jour le prier de lui fabriquer un orgue.

— Comment voulez-vous que je vous construise un orgue? répondit Watt. J'ai la musique en horreur, et tous les instruments me sont étrangers. Je ne puis

distinguer deux sons : l'une de mes oreilles est en *ut* et l'autre en *fa*.

— Bah! essayez. Vous pouvez tout ce que vous voulez : vous êtes le dieu de la mécanique.

Watt essaya. Il n'avait à sa disposition que l'ouvrage très-confus du docteur Robert Smith, de Cambridge. Cependant l'orgue fut construit, et ses qualités harmoniques charmaient jusqu'aux musiciens de profession. Il réalisa le tempérament des diverses notes d'après la seule connaissance du phénomène physique des battements qu'il avait ignoré jusque-là, et dont il trouva l'exposition dans le traité obscur de Robert Smith.

Cette organisation extraordinaire de James Watt, le développement vraiment prodigieux de ses facultés, pourrait sembler aujourd'hui douteux, si quelques-uns de ses contemporains n'avaient pris soin de nous en fournir des témoignages irrécusables. Son élève Playfair a dit : « L'esprit de James Watt pouvait être comparé à une encyclopédie qui, dans quelque endroit qu'on l'ouvrît, offrait à votre curiosité ou quelque fait nouveau, ou le développement d'une vérité, ou la découverte de quelque rapport. » Walter Scott, dans sa préface du *Monastère,* s'exprime en ces termes au sujet du célèbre ingénieur. « Watt n'était pas seulement le savant le plus profond, celui qui avec le plus de succès avait tiré de certaines combinaisons de nombres et de forces des applications nouvelles; il n'occupait pas seulement un des premiers rangs parmi ceux qui se font remarquer par la généralité de leur instruction; il était encore le meilleur, le plus aimable des hommes. La seule fois que je l'aie rencontré, il

était entouré d'une petite réunion de littérateurs du Nord. Là je vis et j'entendis ce que je ne verrai et n'entendrai plus jamais. Dans la quatre-vingt-unième année de son âge, le vieillard, alerte, aimable, bienveillant, prenait un vif intérêt à toutes les questions : sa science était à la disposition de qui la réclamait. Il répandait les trésors de ses talents et de son imagination sur tous les objets. Parmi les *gentlemen* se trouvait un profond philologue; Watt discuta avec lui sur l'origine de l'alphabet comme s'il avait été le contemporain de Cadmus. Un célèbre critique s'étant mis de la partie, vous eussiez dit que le vieillard avait consacré sa vie tout entière à l'étude des belles-lettres et de l'économie politique. Il serait superflu de mentionner les sciences : c'était sa *carrière* brillante et spéciale. Cependant, quand il parla avec notre compatriote Jedediah Cleishbosham, vous auriez juré qu'il avait été le contemporain de Claverhouse et de Burley, des persécuteurs et des persécutés; il avait fait, en vérité, le dénombrement exact des coups de fusil que les dragons tirèrent sur les covenantaires fugitifs. Nous découvrîmes enfin qu'aucun roman du plus léger renom ne lui avait échappé, et que la passion de l'illustre savant pour ce genre d'ouvrages était aussi vive que celle qu'ils inspirent aux jeunes modistes de dix-huit ans. »

Enfin, M. Arago nous fournit ce curieux témoignage sur les facultés intellectuelles de James Watt. « La santé de Watt s'était fortifiée avec l'âge. Ses facultés intellectuelles conservèrent toute leur puissance jusqu'au dernier moment. Notre confrère crut une fois qu'elles déclinaient, et fidèle à la pensée qu'exprimait

le cachet dont il avait fait choix (un œil entouré du mot *observare*), il se décida à éclaircir ses doutes en s'observant lui-même, et le voilà, plus que septuagénaire, cherchant sur quel genre d'étude il pourrait s'essayer, et se désolant de ne trouver aucun sujet sur lequel son esprit ne se fût déjà exercé. Il se rappelle enfin qu'il existe une langue anglo-saxonne, que cette langue est difficile; et l'anglo-saxon devient le moyen expérimental désiré, et la facilité qu'il trouve à s'en rendre maître lui montre le peu de fondement de ses appréhensions [1]. »

C'est ainsi que l'illustre mécanicien, conservant jusqu'à ses derniers jours l'entier usage de ses étonnantes facultés, vieillissait entouré des affections de sa famille, jouissant d'un repos noblement acquis pendant le cours de sa vie laborieuse, et recevant avec un orgueil légitime les hommages que ses concitoyens rendaient à ses vertus et à son génie. Dans l'été de l'année 1819, quelques symptômes alarmants annoncèrent sa fin prochaine. Il ne se méprit pas à la nature de son mal et dès ce moment il ne fut occupé que du soin de consoler ses amis. Il remerciait la Providence de tous les bienfaits versés sur ses longs jours; il exprimait sa gratitude profonde pour les services qu'il lui avait été donné de rendre à sa patrie, pour la sérénité et le calme qui avaient embelli le doux soir de sa vie. Le noble vieillard s'éteignit le 25 août 1819.

Watt fut enterré dans l'église paroissiale de Heatfield. Son fils, M. James Watt, fit ériger sur sa tombe un monument gothique au centre duquel s'élève une

[1] *Éloge historique de James Watt*, p. 371.

statue de marbre due au ciseau de Chantrey. Une seconde statue du même artiste a été placée par M. James Watt dans l'une des salles de l'université célèbre qui protégea l'illustre mécanicien aux jours difficiles de sa jeunesse. Mais le peuple anglais sait trop dignement glorifier ses morts illustres pour avoir laissé à la piété filiale le soin d'honorer seule la mémoire de ce grand citoyen. Une statue colossale de bronze, dressée sur un piédestal de granit, a été élevée à Watt sur l'une des places de Glascow. En outre, les habitants de Greenock, sa ville natale, ont placé à leurs frais une belle statue de marbre dans la bibliothèque de la ville. La haute reconnaissance de la nation ne devait pas s'en tenir au tribut isolé des compatriotes de James Watt. L'abbaye de Westminster possède aujourd'hui un monument digne de son génie. Le projet en fut arrêté dans une réunion de souscripteurs composée de tout ce que le commerce, la science et l'industrie de Londres comptaient de plus distingué. Le roi figurait le premier sur la liste des souscripteurs. L'inauguration du monument de Westminster eut lieu dans une séance solennelle au milieu d'une réunion des plus imposantes, où se trouvaient un grand nombre de pairs d'Angleterre et les membres les plus éminents de la chambre des communes, sous la présidence du premier ministre lord Liverpool. Ce monument consiste en une admirable statue de marbre, l'un des plus beaux ouvrages de Chantrey, qui reproduit avec une fidélité remarquable la physionomie calme et méditative du grand inventeur; les ornements et les emblèmes qui le décorent sont du plus majestueux effet. L'Angleterre a voulu par ce

magnifique hommage consacrer dignement la gloire de l'un des plus grands hommes qu'elle ait produits.

Mais que peuvent pour de tels génies ces somptueux témoignages de l'admiration du monde! Ni l'airain, ni le marbre ne sont nécessaires pour consacrer leur mémoire. Les services que James Watt a rendus à sa patrie, à l'Europe, à l'humanité tout entière, suffisent pour perpétuer son nom. La machine qu'il a créée a été l'agent le plus puissant de la civilisation contemporaine. Multipliant dans une proportion extraordinaire la somme du travail public, elle a couvert le sol des nations libérales de ces milliers de travailleurs, dociles autant qu'infatigables, qui dorment à nos pieds sous la forme d'un bloc de charbon, et qui, sur un geste, sur un signe de nous, s'éveillent pour nous offrir leurs bras de fer et leurs muscles d'acier. C'est par le secours de ces légions paisibles que des améliorations incalculables ont été introduites en quelques années dans le sort et les conditions d'existence des classes pauvres. Les produits du luxe utile mis à la disposition de tous, l'existence rendue plus douce et plus facile, la vie intellectuelle agrandie dans tous les esprits, tels sont les immortels résultats des découvertes et des travaux de James Watt. Les bienfaits que son génie a versés sur le monde, voilà la véritable, voilà l'impérissable statue qui perpétuera sa mémoire et qui fera vivre à jamais son nom dans le cœur des générations présentes et de la postérité.

CHAPITRE X.

Description générale de la machine à vapeur. — Machine à condenseur. — Machine sans condenseur. — Machines à détente et sans détente. — Différents organes des machines à vapeur en général. — Chaudière. — Soupape de sûreté. — Flotteur. — Manomètre, etc.

Dans l'exposition des découvertes scientifiques, la méthode historique nous semble constituer le mode qui permet le plus aisément d'atteindre à la clarté. Mais on ne peut prétendre à obtenir ainsi un résultat complet qu'à la condition de présenter, après les considérations historiques, un exposé descriptif résumant l'état actuel de la découverte que l'on étudie. Il nous reste donc à faire connaître les différentes dispositions en usage de nos jours pour appliquer à l'industrie la puissance mécanique de la vapeur d'eau.

On distingue communément les machines à vapeur en *machines à basse pression* et *machines à haute pression*. Cependant il est plus conforme aux faits de les distinguer en *machines à condenseur* et *machines sans condenseur*. Établissons la différence qui sépare ces deux systèmes.

Les *machines à condenseur*, les premières que l'on ait construites, et les seules dont James Watt ait fait usage, sont ainsi nommées parce que la vapeur, quand elle a produit son effet mécanique, s'y trouve condensée par l'eau froide. On a continué de les désigner sous le nom de machine à *basse pression*, parce que la vapeur n'y est ordinairement employée qu'à une pres-

sion médiocre, qui va d'une atmosphère et demie à deux atmosphères.

La *machine sans condenseur* est celle dans laquelle la vapeur se trouve rejetée librement dans l'air dès qu'elle a produit son effet. Voici les principes sur lesquels repose son mécanisme.

Dans la machine de Watt, ou machine à condenseur, on emploie de la vapeur chauffée seulement à la température de l'ébullition de l'eau sous une pression qui ne dépasse pas beaucoup celle de l'atmosphère. La condensation alternative de cette vapeur sous les deux faces du piston détermine un vide qui permet à la vapeur de produire toute son action mécanique. Mais on peut aussi construire des machines réalisant de très-puissants effets, sans qu'il soit nécessaire d'y condenser la vapeur. Il suffit, pour obtenir ce résultat, de communiquer à la vapeur une tension supérieure à celle de l'atmosphère [1]. En effet, si le piston est pressé sur ses deux faces par de la vapeur dont la force élastique dépasse de beaucoup la pression de l'atmosphère, il suffira de chasser dans l'air la vapeur qui se trouve au-dessous du piston, pour que celui-ci s'abaisse aussitôt dans le cylindre. Quand le cylindre

[1] Pour obtenir de la vapeur à haute pression, on chauffe très-fortement l'eau de la chaudière. L'ouvrier reconnaît, en examinant le manomètre, le moment où la vapeur a atteint le degré de pression qu'il désire communiquer à la vapeur, et ce terme une fois atteint, il ouvre le robinet qui lui donne accès dans le cylindre; la machine commence alors à fonctionner. Pendant la marche de la machine, le chauffeur doit toujours observer la hauteur du manomètre, pour s'assurer si la chaleur du foyer est suffisante pour entretenir la vapeur au même degré de tension.

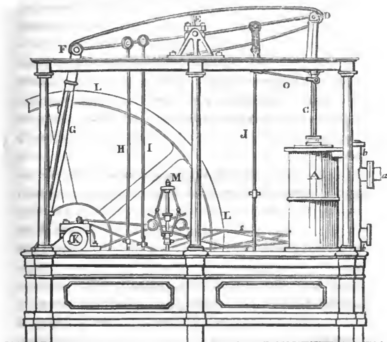
est rempli de vapeur d'eau présentant une force élastique supérieure à celle de l'atmosphère et que ses deux capacités supérieure et inférieure communiquent entre elles, le piston est soumis sur ses deux faces à la même pression ; il reste donc immobile. Mais si tout d'un coup, on vient à donner issue à la vapeur qui remplissait par exemple la capacité inférieure du cylindre, en ouvrant un robinet qui la fasse écouler dans l'air, la pression qui s'exerce sur la tête du piston n'étant plus exactement contre-balancée au-dessous, précipite nécessairement le piston jusqu'au bas de sa course. Admettons, par exemple, que le cylindre soit rempli de vapeur à la tension de trois atmosphères, si l'on chasse dans l'air la vapeur qui se trouve au-dessous du piston, la capacité inférieure du cylindre, communiquant dès lors librement avec l'air extérieur n'opposera plus à la vapeur une résistance capable de le maintenir en équilibre, et le piston sera poussé au bas de sa course en raison de la différence des pressions qu'il supporte sur ses deux faces. Le poids que supporte la tête du piston est représenté par trois atmosphères, la pression qui le sollicite au-dessous est seulement d'une atmosphère, attendu que ce n'est autre chose que la pression même de l'air, par conséquent le piston doit s'abaisser dans le cylindre en vertu de la différence des deux pressions, c'est-à-dire par une pression de deux atmosphères. Si maintenant on fait écouler dans l'air la vapeur à haute pression qui remplit la partie supérieure du cylindre, et qu'en même temps on dirige au-dessous du piston de nouvelle vapeur à trois atmosphères envoyée par la chaudière, le piston sera soulevé, puisque la vapeur qui

se trouve contenue dans la partie supérieure du cylindre est en communication avec l'air extérieur. Ainsi, en dirigeant alternativement de la vapeur à haute pression au-dessus et au-dessous du piston, et mettant chaque fois l'une des extrémités du cylindre en communication avec l'air, on obtiendra un mouvement continu du piston, et l'on pourra se passer de condenser la vapeur. Tel est le principe des machines à haute pression, que le mécanicien Leupold proposa le premier, vers 1725, mais qui n'ont été appliquées à l'industrie qu'à la fin du dernier siècle par le constructeur américain Olivier Evans.

Quelles sont les raisons qui peuvent motiver dans une usine le choix d'une machine à vapeur à haute ou à basse pression? Si l'on dispose d'une quantité d'eau assez abondante pour fournir aux besoins de la condensation, il y a avantage à adopter la machine à condenseur; il suffit de donner à la surface du piston des dimensions convenables pour obtenir des machines réalisant tout l'effort nécessaire, et dans lesquelles la vapeur agit toujours à basse pression, c'est-à-dire à une atmosphère ou une atmosphère et demie. Mais si l'on ne peut se procurer facilement la quantité d'eau qui est nécessaire à la condensation, on est forcé d'employer des machines à haute pression qui marchent sans condenseur. La machine à basse pression occupe une place considérable; au contraire la machine à haute pression, qui ne se compose guère que d'un cylindre et d'une bielle, ne demande qu'un emplacement médiocre : dans un grand nombre d'industries cette circonstance détermine le choix de la machine à haute pression.

Examinons maintenant les détails du mécanisme de la machine à vapeur selon qu'elle marche avec ou sans condenseur.

Machine à condenseur. — La machine à vapeur à basse pression ou à condenseur ne se compose que d'éléments qui ont été précédemment analysés, il nous suffira donc d'une légende ajoutée à la figure suivante pour faire comprendre son mécanisme et la destination de chacun de ses organes.



A est le cylindre dans lequel joue le piston par suite de l'effort de la vapeur qui s'y introduit à l'aide du tube *a* ; l'appareil connu sous le nom de *tiroir* est

représenté par les lettres *b,b*; il est destiné à faire passer la vapeur arrivant de la chaudière, tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du piston, et en même temps à faire communiquer le condenseur tantôt avec la partie supérieure, tantôt avec la partie inférieure du cylindre. Ce tiroir se compose d'une plaque métallique mobile jouant à l'intérieur de la capacité *b,b*, et mise en mouvement par l'arbre K de la machine à l'aide de deux tringles *s,s*, convergeant l'une vers l'autre qui mettent en mouvement un petit mécanisme connu sous le nom d'*excentrique*. En se déplaçant ainsi à l'intérieur de la capacité *b,b*, cette plaque a pour effet de fermer et d'ouvrir successivement une communication qui existe entre la partie supérieure et la partie inférieure du cylindre; selon que cette ouverture est ouverte ou fermée, la vapeur peut s'introduire au-dessous ou au-dessus de la tête du piston.

C représente la tige du piston qui, au moyen du parallélogramme articulé O, transmet son mouvement au balancier de manière à lui imprimer un mouvement de va-et-vient autour de son axe E. A l'extrémité F du balancier est attachée une bielle ou tige G, qui vient s'articuler avec le bouton de la manivelle fixée à l'extrémité de l'arbre K, pour communiquer à cet arbre un mouvement de rotation. L, L, est une roue ou volant destiné à prévenir les irrégularités d'action du balancier, en répartissant les inégalités de son mouvement sur une grande masse placée à une certaine distance de l'axe de l'arbre. M est le régulateur à force centrifuge; lié par une courroie à l'arbre de la machine, il est destiné à régler l'entrée de la vapeur dans

le cylindre et à imprimer au mouvement une marche uniforme.

Le condenseur qui se trouve caché dans le dessin qui précède est disposé immédiatement au-dessous du cylindre. C'est une capacité communiquant par un tube avec le cylindre, et qui se trouve incessamment parcourue par un courant d'eau froide destinée à produire la condensation de la vapeur. L'eau qui doit servir aux besoins de cette condensation est empruntée à une source ou à un cours d'eau voisin à l'aide d'une pompe aspirante et foulante. Cette pompe est mise en action par une tige que l'on a représentée sur la figure par la lettre I; cette tige reliée au balancier de la machine lui emprunte son mouvement.

La capacité du condenseur se trouverait bientôt remplie d'eau, si une pompe ne l'extrayait à mesure qu'elle s'y accumule : tel est l'objet que remplit la pompe dont la tige est représentée sur la figure précédente par la lettre J. On la désigne communément sous le nom de *pompe à air*, parce qu'en même temps qu'elle extrait l'eau qui remplit le condenseur, elle en retire aussi l'air qui se dégage de l'eau froide lorsqu'elle arrive dans la capacité du condenseur où le vide existe partiellement.

L'eau chaude extraite du condenseur par la pompe à air se rend dans un réservoir d'où elle s'échappe hors de l'usine à l'aide d'un trop-plein. Cependant cette eau n'est pas rejetée tout entière; une petite partie en est aspirée par une pompe nommée *pompe alimentaire*, qui la refoule dans la chaudière pour remplacer celle qui a disparu sous forme de vapeur. La tige de la pompe alimentaire est indiquée sur la

figure précédente par la lettre H. On voit que, comme la pompe à air, elle est mise en action par le balancier de la machine auquel elle se trouve liée.

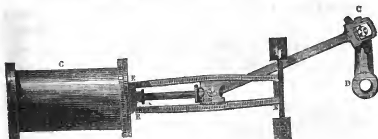
Telle est, réduite ici à ses éléments les plus simples, la machine à basse pression, ou machine de Watt à double effet. Elle est surtout d'un grand usage en Angleterre; en France, elle est un peu moins employée. C'est, avec quelques modifications, le genre de machines qui, comme nous le verrons, est le plus généralement adopté sur les bateaux à vapeur.

Dans les machines à basse pression construites depuis quelques années, on fait usage de l'artifice de la détente qui, d'après les principes indiqués plus haut, diminue la consommation du combustible. Comme l'addition de la détente ne change rien à l'ensemble du mécanisme, il serait inutile d'en donner une description particulière. Toute la différence consiste dans la disposition du tiroir qui ne laisse entrer la vapeur dans le cylindre que pendant la moitié, le tiers, le cinquième, etc., de la course du piston, de telle sorte que la détente de la vapeur, c'est-à-dire sa dilatation dans le vide, agisse seule sur le piston pendant tout le reste de sa course. La plupart des machines actuelles sont construites de manière que le mécanicien puisse à volonté établir ou suspendre la détente; elles permettent même de donner à la vapeur le degré de détente que l'on juge nécessaire d'employer.

Machines sans condenseur. — Dans ce second ordre de machines, d'un mécanisme plus simple, la vapeur, après avoir agi sur le piston, s'échappe dans l'air. Comme une grande quantité de vapeur est ainsi per-

due, on comprend qu'elles exigent plus de combustible que les machines à basse pression. On les préfère cependant, dans bien des cas, à la machine de Watt, en raison de la simplicité de leur mécanisme, qui permet aux constructeurs de les livrer à un prix bien inférieur. La machine à vapeur à haute pression, ne comportant ni condenseur ni pompe à air, est adoptée dans un grand nombre d'industries; elle est d'une adoption forcée dans les lieux où il est impossible de se procurer la quantité d'eau nécessaire à la condensation, ou quand on ne peut disposer que d'un emplacement exigu.

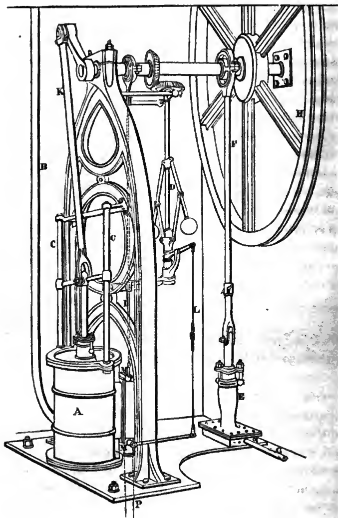
Dans la machine à haute pression on supprime presque toujours le balancier. On se contente de réunir l'extrémité de la tige du piston à une bielle, comme on le voit dans la figure ci-dessous. Seulement, comme



la tige A du piston a besoin d'être guidée dans son mouvement pour ne pas être faussée par la résistance oblique qu'elle éprouve de la part de la bielle, on fait rouler son extrémité B entre deux coulisses EE, de manière à la maintenir constamment en ligne droite malgré les mouvements d'élévation et d'abaissement de la bielle. Par son libre mouvement dans l'espace EE, la tige BC met en action la manivelle CD, et

imprime ainsi directement à l'arbre D un mouvement continu de rotation.

Les principes sur lesquels repose le jeu de la ma-



chine à haute pression ayant été exposés plus haut, la figure précédente permettra de saisir tous les détails de son mécanisme.

A est le cylindre ou corps de pompe de la machine. Amenée de la chaudière dans ce cylindre à l'aide du tuyau P, la vapeur vient y exercer sa pression sur les deux faces du piston, et une fois l'effet produit, se dégage dans l'air à l'aide d'un long tuyau de cuivre B qui la fait perdre hors de l'usine. C, C, sont deux tiges directrices verticales qui servent à guider dans son mouvement la tige du piston. K est une seconde tige, ou bielle, qui, pourvue d'une articulation mobile à chacune de ses extrémités, transmet à la manivelle adaptée à l'arbre de la machine le mouvement du piston et imprime à cet arbre un mouvement de rotation continu. I est une tige métallique qui fait marcher le tiroir MM; par suite du déplacement de la plaque mobile qui le parcourt, la vapeur trouve accès tantôt au-dessus, tantôt au-dessous de la tête du piston. Cette tige est mise en mouvement par l'arbre de la machine auquel elle est rattachée. D est le régulateur de Watt à force centrifuge; à l'aide de la tige L et du levier coudé qui lui fait suite, il régularise l'entrée de la vapeur dans le cylindre en dilatant ou rétrécissant l'orifice qui donne accès à la vapeur. F est la tige qui met en action la pompe alimentaire E, destinée à remplacer l'eau de la chaudière à mesure que celle-ci disparaît en vapeur. Cette tige, reliée à l'arbre de la machine, est mise en mouvement par lui, et fait agir la pompe E, qui, puisant de l'eau froide dans un reservoir situé au-dessous, la dirige, à l'aide du tube G, dans l'intérieur de la chaudière. Cette pompe ali-

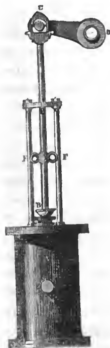
mentaire peut fonctionner constamment ou seulement d'une manière intermittente. Si le chauffeur veut suspenpre son action, il lui suffit d'enlever la clavette mobile qui rattache les deux parties de la tige EF : le mouvement du piston de la pompe est ainsi suspendu, et la tige F fonctionne *à vide*, c'est-à-dire agit sans transmettre son mouvement à la pompe. Enfin H est la roue ou le volant de la machine, qui a pour fonction de régulariser son mouvement, parce qu'il le répartit sur une masse considérable éloignée de son centre d'action.

Tel est le type à peu près général de la machine à vapeur dite à *haute pression* ou *sans condenseur*. Il faut ajouter seulement que l'on s'arrange toujours pour que la vapeur qui se perd dans l'atmosphère traverse le réservoir d'eau froide destinée à l'alimentation de la chaudière, afin de profiter d'une partie de la chaleur emportée par cette vapeur. Le tuyau qui la rejette hors de l'usine traverse donc l'eau d'alimentation et l'échauffe de telle manière, que lorsque cette dernière s'introduit dans la chaudière, elle jouit déjà d'une température assez élevée, ce qui économise une certaine partie de combustible. Cette disposition fort simple à comprendre n'a pas été représentée sur la figure, pour ne rien lui enlever de sa clarté.

La machine à haute pression est employée avec avantage toutes les fois que l'on n'a besoin que d'une force motrice d'une intensité médiocre. La régularité de son action, sa simplicité extrême, son prix peu élevé, lui font accorder la préférence, dans beaucoup d'usines, sur la machine à condensation, d'un prix considérable, d'une installation souvent difficile, et

qui exige un grand emplacement et une source d'eau abondante pour suffire aux besoins de la condensation.

Le mécanisme si simple qui permet dans les machines à haute pression de transmettre à l'arbre le mouvement du piston a été récemment simplifié encore par un constructeur de Paris, M. Cavé, qui s'est contenté d'articuler directement la tige du piston à la manivelle qui fait tourner l'arbre de la machine. Seulement il a fallu, pour rendre ce mécanisme applicable, rendre mobile le cylindre lui-même afin que la tige du piston pût toujours être dirigée suivant son axe malgré les diverses positions de la manivelle. M. Cavé est parvenu à atteindre ce résultat à l'aide de l'ingénieuse disposition qui se trouve représentée sur la figure ci-jointe. Il a fait supporter le cylindre A par deux tourillons E, E, autour desquels il oscille en tournant tantôt à droite, tantôt à gauche. Pour que le piston puisse toujours donner au cylindre qu'il entraîne une position convenable, on munit sa tige de deux roulettes F, F, glissant entre deux tringles. Comme les tourillons E sont les seules parties du cylindre qui restent immobiles pendant le mouvement continuel de la machine, c'est par l'intérieur de l'un d'eux que s'in-



troduit la vapeur arrivant de la chandière; la vapeur qui a cessé d'agir s'échappe dans l'air par l'autre tourillon. Les tiroirs qui sont destinés à distribuer la vapeur sont portés par le cylindre, et suivent ses mouvements. Ce genre de machines à vapeur, que l'on désigne sous le nom de *machines oscillantes*, commence à être adopté en France, et donne de bons résultats.

La machine à vapeur à haute pression n'est d'un emploi réellement économique, relativement à la machine à basse pression, que quand on y fait agir la vapeur avec détente. Employée sans détente, elle est d'un médiocre effet ou d'un usage dispendieux. Aussi tous nos mécaniciens ont-ils adopté ce nouveau mode d'emploi de la vapeur. Comme toute la différence entre les machines à détente et sans détente ne réside que dans la disposition des tiroirs qui permet de fermer l'accès à la vapeur avant que le piston soit parvenu à l'extrémité de sa course, nous n'avons rien de particulier à ajouter sur le mécanisme des machines modifiées suivant ce mode.

Les deux systèmes qui viennent d'être décrits, c'est-à-dire les machines à haute pression et à basse pression, sont loin de s'exclure l'un l'autre. On les combine en effet avec avantage. On construit aujourd'hui un grand nombre de machines qui marchent à haute pression et qui sont néanmoins munies d'un condenseur. Beaucoup de machines fixes employées dans les manufactures, plusieurs des machines à vapeur qui fonctionnent à bord des bateaux de rivière, sont établies suivant ce double système [1].

[1] On a l'habitude d'évaluer en nombre de chevaux la puis-

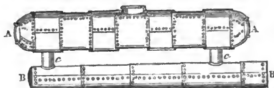
Après avoir fait connaître les procédés généraux que l'on met en usage pour tirer parti de la force élastique de la vapeur, il nous reste à indiquer avec plus de détails les particularités qui se rapportent aux différents organes communs à tous les genres de machines à vapeur. Nous nous occuperons d'abord de la forme et des dispositions adoptées pour la construction des chaudières; nous passerons ensuite en revue les appareils de sûreté qui servent à indiquer l'état de la pression dans les machines et à prévenir ainsi leur explosion.

sance des machines à vapeur. Ce moyen de mesure a été employé pour la première fois par Thomas Savery. On a beaucoup varié sur la valeur de cette sorte d'unité dynamométrique. Voici quelle est aujourd'hui sa signification précise. On dit qu'une machine à vapeur est de la force d'un cheval, lorsqu'elle est capable d'*élever un poids de 75 kilogrammes à 1 mètre de hauteur dans une seconde de temps*. Une machine à vapeur de dix chevaux, par exemple, est donc celle qui, dans une seconde, peut élever à 1 mètre de hauteur 750 kilogrammes, ou 75 kilogrammes à 10 mètres de hauteur. Il faut remarquer cependant que cette quantité de travail est bien supérieure à celle que peut produire un cheval, aussi ce mode d'évaluation est-il plutôt une convention qu'une comparaison fondée sur une appréciation exacte des forces naturelles. Un cheval attelé à un manége ne tire qu'avec un effort d'environ 45 kilogrammes en moyenne en avançant de 90 centimètres par seconde, ce qui correspond à peu près à la moitié du travail d'un *cheval-vapeur* pour le même temps. En outre, comme un cheval ne peut travailler que huit heures sur vingt-quatre, on voit qu'il faut presque six chevaux à l'écurie pour représenter la puissance d'une machine à vapeur de la force d'un cheval marchant d'une manière non interrompue. C'est pour éviter toute confusion de ce genre que l'on emploie le terme de *cheval-vapeur* pour représenter l'unité dynamométrique des machines à vapeur.

Chaudières. — Dans les premières machines à vapeur, dans celles de Savery et de Newcomen, on donnait à la chaudière une forme demi-sphérique. Comme à cette époque la crainte de l'explosion préoccupait avant tout, cette forme fût adoptée comme offrant le plus de résistance à la pression de la vapeur. Mais plus tard, quand la crainte du danger s'affaiblit par l'habitude, lorsque l'expérience eut fait connaître la résistance précise offerte par un métal à une épaisseur donnée, on abandonna la forme sphérique qui, à volume égal, offre le moins de surface. Les chaudières de Watt, communément appelées *chaudières prismatiques* ou *à tombeau,* étaient concaves par le fond, cylindriques à la partie supérieure et verticales sur les côtés. Watt avait adopté la forme concave pour la partie inférieure de ses chaudières, parce qu'il augmentait ainsi l'étendue de la surface soumise à l'action du feu. Ces sortes de chaudieres sont encore employées aujourd'hui lorsque la tension de la vapeur ne doit pas dépasser deux atmosphères.

Des dispositions toutes différentes sont adoptées dans la construction des générateurs qui doivent fournir de la vapeur d'une tension considérable. La quantité de vapeur fournie par une chaudière ne dépend ni de sa capacité ni du volume d'eau qu'elle renferme, elle dépend seulement de l'étendue de la surface qu'elle présente à l'action du feu. On admet que 1 mètre carré de surface chauffée peut donner moyennement 40 kilogrammes de vapeur par heure; la forme de cette surface est d'ailleurs indifférente. D'après cela, pour produire rapidement une grande quantité de vapeur, il faudrait donner à la chaudière une lon-

gueur très-considérable, afin qu'elle présentât à l'action du feu toute la surface nécessaire. C'est pour obvier à cette difficulté que l'on construit aujourd'hui les chaudières dites *à bouilleurs*, qui consistent en deux chaudières superposées, de grandeur inégale et communiquant entre elles par de gros tubes. Comme les *bouilleurs* reçoivent la première action du feu qui altère plus particulièrement le métal, on peut les changer à mesure qu'ils sont usés; la chaudière principale peut ainsi durer très-longtemps. La figure ci-dessous représente une chaudière de cette espèce.



A est le corps de la chaudière principale, B le bouilleur, CC les gros tubes qui établissent la communication entre ces deux capacités.

On donne aux chaudières une longueur qui est cinq à six, et quelquefois jusqu'à dix fois leur diamètre. L'expérience a montré que ce diamètre intérieur ne doit jamais dépasser 1 mètre. Lorsque la quantité de vapeur ainsi produite est insuffisante pour l'effet mécanique que l'on veut produire, au lieu d'augmenter le diamètre de la chaudière, on préfère en employer plusieurs. C'est, comme nous le verrons, le cas des bateaux à vapeur.

Les chaudières et les bouilleurs peuvent être con-

struits en fonte, en cuivre ou en tôle de fer. Appliquée à la construction des chaudières, la fonte ne donne que de mauvais résultats; aussi l'usage de chaudières de ce genre est-il défendu à bord des bateaux, et l'on n'en construit même qu'un très-petit nombre pour les machines destinées à fonctionner sur terre, car par suite de la faible résistance de la fonte, on est obligé de leur donner beaucoup plus d'épaisseur qu'aux chaudières de tôle, et leur prix devient ainsi de fort peu inférieur à celui de ces dernières. Les chaudières de cuivre ont été longtemps employées par nos constructeurs, mais l'épaisseur qu'il faut donner au cuivre laminé, et qui est égale à celle qu'elles devraient avoir si elles étaient de tôle de fer, augmente de beaucoup leur prix : aussi ne sont-elles guère employées que lorsque les eaux d'alimentation sont très-corrosives et détruiraient rapidement le fer. La tôle de fer est donc à peu près uniquement employée aujourd'hui pour la construction des chaudières; la grande ténacité du fer et le prix peu élevé de ce métal lui assurent, sous ce rapport, des avantages que rien ne peut contre-balancer, surtout lorsque les houilles sont peu sulfureuses, et ne sont pas, par conséquent, de nature à altérer le métal

Lorsque l'eau a été entretenue pendant quelque temps en ébullition dans une chaudière, elle y dépose, par le fait de l'évaporation, un sédiment terreux. Les eaux dont on se sert pour alimenter les chaudières tiennent toujours en dissolution une quantité plus ou moins grande de sels, formés d'un mélange de sulfate de chaux et de carbonate de chaux, qui, par l'effet de la concentration, finissent par se déposer contre les

parois de la chaudière. La présence de cette croûte terreuse à l'intérieur du générateur présente des inconvénients de plus d'un genre. Comme par son interposition, elle empêche le contact immédiat de l'eau et du métal, elle retarde la transmission de la chaleur dont elle absorbe une partie à son profit; elle peut en outre occasionner l'altération de la chaudière, parce que la partie qui se trouve ainsi recouverte s'échauffe à une température assez élevée pour déterminer l'oxydation du métal, et par conséquent sa destruction. Enfin, la présence de ces sédiments devient souvent la source d'un danger des plus graves, car elle peut aller au point de provoquer l'explosion de la machine. Lorsqu'en effet cette sorte d'enveloppe pierreuse a fini par se former au fond d'une chaudière, il peut arriver que, par suite de la dilatation inégale que la croûte terreuse et le métal qu'elle recouvre éprouvent par l'action de la chaleur, cette croûte vienne subitement à se déchirer; l'eau qui existe dans la chaudière se trouve dès lors mise subitement en contact avec une surface métallique chauffée à une température excessive, et il se forme aussitôt une quantité de vapeur tellement considérable, qu'elle peut déterminer une explosion. On était forcé autrefois de nettoyer le générateur tous les quinze à vingt jours pour enlever ces dépôts terreux, mais comme ils adhéraient très-fortement au métal, il fallait les attaquer avec des instruments d'acier, ce qui n'était pas sans nuire à la chaudière. Aujourd'hui, au lieu d'enlever ce sédiment une fois formé, on s'arrange pour en prévenir la production. Le moyen employé à cet effet consiste à placer dans la chaudière différents

corps étrangers, sur lesquels les sels calcaires viennent se déposer au lieu de s'attacher aux parois du métal : tel est l'effet que produisent les raclures de pomme de terre ou le son que, dans beaucoup d'usines, on mêle à l'eau du générateur. Cependant comme ces corps ont l'inconvénient de faire mousser le liquide, qui quelquefois passe jusque dans l'intérieur des tubes, on se sert plus généralement aujourd'hui d'argile délayée dans l'eau, qui s'oppose à la cristallisation et à l'agrégation des substances terreuses. Des fragments de verre, des rognures de fer-blanc, de tôle ou de zinc, par leur mouvement continuel au sein du liquide, et contre les parois du générateur, peuvent aussi prévenir les incrustations. Grâce à l'emploi de ces divers moyens, on empêche les sels terreux de se précipiter en couches continues et adhérentes, et l'on obtient un dépôt boueux qui n'adhère point à la chaudière : il suffit dès lors de vider celle-ci tous les quinze à vingt jours pour chasser l'eau vaseuse qui en occupe le fond.

Appareils de sûreté. — Les accidents nombreux et les malheurs auxquels ont donné lieu les explosions autrefois trop fréquentes des chaudières à vapeur ont naturellement éveillé toute la sollicitude des mécaniciens. Les différents appareils de sûreté dont la loi impose sagement la nécessité à nos constructeurs constituent un des systèmes les plus importants de ces machines; nous les examinerons avec soin. Cependant avant d'indiquer les moyens efficaces que l'on oppose à l'explosion des chaudières, il est nécessaire de signaler les causes principales de ce redoutable phénomène.

Si l'épaisseur donnée aux parois du métal est insuffisante pour supporter l'effort de la vapeur, on conçoit aisément que, cédant à la pression qu'elle éprouve, la chaudière se déchire dans une de ses parties et donne tout d'un coup issue à la vapeur : de là une première cause d'explosion. Aussi l'ordonnance royale qui régit la construction et l'installation des machines à vapeur fixe-t-elle avec soin l'épaisseur à donner au métal d'une chaudière, selon les pressions qu'elle doit subir. Mais l'explosion n'est presque jamais due à un défaut de résistance du métal. Dans le plus grand nombre des cas, elle provient de ce que quelques parties de la chaudière, accidentellement portées à une température excessive, se sont trouvées tout d'un coup en contact avec l'eau. Si, par exemple, le niveau intérieur de l'eau vient, par un défaut de surveillance, à baisser dans le générateur, de telle sorte que l'eau n'occupe que la moitié ou le tiers de la hauteur qu'elle doit y occuper, ces portions du métal léchées par la flamme du foyer peuvent s'échauffer au point de rougir, et si, par un accident quelconque, une certaine quantité d'eau vient alors à être projetée contre ces parois rougies, l'explosion de la chaudière est inévitable. Elle est inévitable pour deux motifs. Le premier tient à la formation subite d'une masse considérable de vapeur qui prend naissance par suite du contact de l'eau avec la partie surchauffée du métal; cette masse de vapeur qui se forme brusquement, par la pression considérable qu'elle provoque tout d'un coup, produit sur la chaudière l'effet d'un violent coup de marteau et détermine sa rupture. En second lieu, le refroidissement presque

instantané qu'éprouve le métal rougi amène dans sa constitution physique une modification moléculaire qui le rend beaucoup plus fragile et facilite sa déchirure.

L'explosion d'une machine à vapeur donne lieu à des phénomènes mécaniques extraordinaires, dont a puissance serait difficile à expliquer si l'on ne considérait que la seule action de la vapeur qui se trouve dans la chaudière au moment de sa rupture : des murs renversés, des poutres énormes projetées à des distances extraordinaires, la dévastation des usines, et toutes les scènes de destruction et de mort qui accompagnent ce terrible phénomène ne pourraient être déterminées par la seule expansion de la vapeur contenue dans la chaudière. Ce qui ajoute à cette première cause une source plus puissante et plus réelle de dangers, c'est la vaporisation subite de la majeure partie du liquide qui existe dans la chaudière au moment de l'explosion. Cette eau, chauffée à un degré bien supérieur à celui de l'ébullition, se trouvant tout d'un coup mise en contact avec l'atmosphère, se vaporise en grande partie d'une manière instantanée, et la quantité énorme de vapeur qui se trouve ainsi brusquement engendrée peut donner naissance à ces effets désastreux que l'on n'observait que trop souvent aux premiers temps de l'emploi de ces machines.

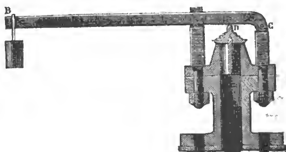
Les appareils de sûreté qui servent à prévenir ces effrayants phénomènes sont de deux sortes. Les premiers sont destinés à se mettre à l'abri des pressions trop considérables que la vapeur pourrait acquérir : la *soupape de sûreté*, les *plaques fusibles*, le *manomètre*, remplissent le premier objet. Les seconds sont

destinés à régulariser l'alimentation de la chaudière, de telle sorte que l'eau se trouve toujours maintenue dans son intérieur à un niveau convenable.

La *soupape de sûreté* que Papin imagina en 1688, pour son digesteur, et que Desaguliers appliqua, en 1717, à la machine de Savery, d'après la proposition de Papin, est un appareil admirable pour la simplicité et l'efficacité de son action. Il a pour but de prévenir l'explosion de la chaudière, en offrant une issue à la vapeur dès que la pression s'y élève au delà des limites auxquelles le métal pourrait résister. Le principe sur lequel repose le rôle préservateur de cet instrument est des plus simples. La vapeur contenue dans une chaudière exerce une pression égale sur tous les points de ses parois. Si donc on pratique sur un point quelconque de sa surface une ouverture circulaire, et qu'on ferme exactement cet orifice avec une plaque métallique mobile, cette plaque pourra être repoussée de bas en haut par l'action de la vapeur intérieure. Or si l'on place sur cette plaque mobile un poids exactement équivalent à la pression que la chaudière éprouve lorsque la vapeur se trouve portée au degré de tension qu'elle ne doit jamais dépasser, cette plaque sera soulevée dès que la vapeur aura atteint ce degré de pression. Mais comme les poids employés pour comprimer la plaque seraient trop lourds ou d'un ajustement difficile, au lieu de les déposer simplement sur l'ouverture, on préfère agir sur la plaque par l'intermédiaire d'un levier du genre des romaines, qui permet, à l'aide d'un poids médiocre, de contre-balancer les plus fortes pressions.

La soupape de sûreté est représentée dans la figure

ci-dessous. A est la soupape qui ferme un tuyau ver-



tical communiquant avec la chaudière, et qui par conséquent ferme la chaudière elle-même. Elle est maintenue au moyen d'un levier BC, qui repose sur elle au point D, et qui est mobile autour du point fixe C. Un poids est suspendu à l'extrémité B de ce levier; il a été calculé de manière à exercer sur la soupape une pression égale à celle qu'elle éprouverait de la part de la vapeur lorsque sa force élastique serait arrivée au terme qu'elle ne doit jamais dépasser. Si la pression de la vapeur arrive accidentellement à ce degré, elle soulève immédiatement la soupape, dès lors une partie de la vapeur s'échappe dans l'air et la pression intérieure se trouve ramenée, dans l'intérieur de la chaudière, à ses limites normales; cette limite une fois atteinte, la soupape se referme et prévient ainsi une émission de vapeur devenue inutile.

Les dimensions de la soupape de sûreté sont fixées avec beaucoup de soin par les règlements d'administration qui exigent que chaque chaudière à vapeur soit munie de deux appareils de ce genre.

La soupape à plaque mobile serait un appareil irréprochable par la commodité, la simplicité, la certi-

tude de son action, si les ouvriers chargés de la conduite des machines ne pouvaient avec une facilité désespérante annuler ses avantages. On comprend, en effet, qu'il suffit d'augmenter le poids qui presse la soupape pour l'empêcher de s'ouvrir sous la pression calculée par le constructeur. Si, au poids de 10 kilogrammes, par exemple, que porte le levier, on ajoute un poids de 1 ou de 2 kilogrammes, la vapeur ne pourra soulever la plaque mobile que lorsqu'elle aura gagné en puissance dans une proportion correspondante. C'est ce que ne font que trop souvent les ouvriers chargés de diriger les machines. Tout le monde a vu, sur un bateau à vapeur, le mécanicien, quand il veut obtenir une plus grande vitesse, attacher à l'extrémité du levier un marteau, un morceau de fer ou un poids; lorsque deux bateaux en concurrence se rencontrent faisant la même route sur une de nos rivières, c'est ainsi que débutent les mécaniciens en entamant la lutte. Pour mettre la soupape de sûreté à l'abri de la main des ouvriers, les règlements exigent que l'une des deux soupapes dont la chaudière est munie soit placée dans une boîte fermant à clef; mais cette utile prescription n'est pas toujours suivie.

Outre la soupape de Papin, les chaudières à vapeur sont quelquefois munies d'un appareil de sûreté fondé sur un principe tout différent; c'est la *plaque* ou *rondelle fusible*. La plaque fusible est un petit disque de métal qui bouche hermétiquement un trou pratiqué sur un point quelconque de la chaudière; ce disque est composé d'un alliage d'étain, de bismuth et de plomb, dans des proportions telles qu'il puisse entrer en fusion dès qu'il se trouve soumis à un degré de

température supérieur à celui que présente la vapeur quand elle a atteint la pression extrême que la chaudière peut supporter.

Le principe sur lequel repose l'emploi des rondelles fusibles est important à connaître. La pression qu'exerce la vapeur d'eau dépend de sa température, et les pressions qui correspondent aux différentes températures de la vapeur ont été déterminées expérimentalement de la manière la plus précise. D'après les tables de la force élastique de la vapeur d'eau dressées par les soins de l'Académie des sciences de Paris, on sait qu'à la température de 100 degrés, la force élastique de la vapeur équivaut au poids d'une atmosphère, qu'une température de 112 degrés correspond à une force élastique d'une atmosphère et demie, une température de 122 degrés à deux atmosphères, une température de 145 degrés à quatre atmosphères, etc. D'après cela, la connaissance de la température de la vapeur contenue dans une chaudière doit suffire pour indiquer la force élastique dont jouit cette vapeur, ces deux termes étant liés entre eux d'une manière invariable. Si donc on forme, par le mélange de divers métaux, un alliage tel qu'il puisse entrer en fusion à la température que la vapeur ne doit jamais dépasser, et que l'on ferme avec une plaque formée de cet alliage un orifice pratiqué sur la chaudière, dès que la vapeur aura dépassé la pression normale assignée par le constructeur, la température de cette vapeur s'étant accrue d'une manière correspondante, déterminera la fusion de l'alliage; la chaudière se trouvera ainsi ouverte et offrira une libre issue à la vapeur.

Fondées sur des faits physiques d'une exactitude rigoureuse, les rondelles fusibles semblent offrir un moyen certain de prévenir l'explosion des chaudières. L'expérience a prouvé cependant qu'elles atteignent rarement le but proposé, et qu'elles présentent dans leur emploi divers inconvénients. Comme l'alliage, avant de fondre et de couler, commence par se ramollir, il offre une résistance beaucoup moindre à l'effort de la vapeur, et il arrive souvent que, par suite de cette diminution de résistance, la rondelle cède à la pression de la vapeur lorsque celle-ci est encore bien loin des limites assignées. On a obvié en partie à cet inconvénient en serrant la rondelle fusible entre deux toiles métalliques à mailles étroites qui la maintiennent de manière à prévenir ses boursouflures. Mais un autre inconvénient plus difficile à éviter, c'est que la rondelle fusible, quoique placée à la partie supérieure de la chaudière, finit par s'encroûter des dépôts qui proviennent de l'évaporation de l'eau; ces dépôts s'attachent à sa surface, et la recouvrent d'une enveloppe terreuse qui retarde la transmission de la chaleur et l'empêche d'entrer en fusion au degré convenable.

Les rondelles fusibles présentent un dernier inconvénient qui est de beaucoup le plus grave. Lorsque, par suite d'une pression trop considérable, la vapeur ayant dépassé dans la chaudière les limites assignées par le constructeur, la plaque métallique est entrée en fusion, toute la vapeur qui se trouvait contenue dans la chaudière s'échappe aussitôt dans l'air. L'explosion est ainsi prévenue, mais la marche de la machine est du même coup arrêtée, puisque la chaudière est ou-

verte et cesse d'envoyer sa vapeur dans le cylindre. Il faut de nécessité remplacer la plaque fusible, remplir de nouveau la chaudière d'eau et la chauffer. Dans bien des cas ce n'est pas sans de sérieux inconvénients que l'action de la machine peut être ainsi suspendue. Dans un bateau à vapeur, près des côtes et au moment d'entrer dans le port, l'absence subite du moteur constituerait un danger très-sérieux. Là est le vice capital et tout à fait irremédiable des appareils de sûreté composés de métaux fusibles. La soupape de Papin est exempte de cet inconvénient, car dès qu'elle a donné issue à la vapeur dont l'excès de force élastique menaçait de compromettre l'appareil, la soupape retombe, ferme de nouveau la chaudière, et la vapeur ainsi ramenée à la tension convenable poursuit l'effet de son action motrice.

En raison de ces divers inconvénients, les plaques fusibles sont aujourd'hui à peu près abandonnées. En France, nos règlements d'administration exigeaient autrefois l'adjonction à toutes les chaudières à vapeur de deux plaques fusibles de dimensions inégales, depuis quelques années cette prescription a été levée[1].

Manomètre. — Le moyen le plus certain de prévenir les dangers qui pourraient résulter de l'augmentation accidentelle de la pression de la vapeur, c'est de pouvoir s'assurer à chaque instant de l'état exact de la tension que possède la vapeur. L'appareil destiné à donner à chaque instant au mécanicien l'indication et

[1] Aucune chaudière ne peut être employée avant d'avoir été essayée à froid, au moyen d'une presse hydraulique, sous une pression triple de celle qu'elle doit supporter. Cet essai est vérifié par les soins de l'ingénieur du département.

la mesure de la pression qui s'exerce à l'intérieur de la chaudière porte le nom de *manomètre*.

Le manomètre employé dans la plupart des machines à vapeur consiste simplement en un long tube de verre ouvert par ses deux bouts, plongeant dans un réservoir de mercure qui communique lui-même avec la vapeur contenue dans la chaudière. Lorsque la pression intérieure ne dépasse pas une atmosphère, le mercure s'élève à la même hauteur dans le réservoir et dans le tube. Si elle est de deux atmosphères, le mercure s'élève à 0m,76 de hauteur, d'après les principes connus sur la mesure de la pesanteur de l'air; si la pression est de trois atmosphères, elle s'élève à deux fois 0m,76 de hauteur, c'est-à-dire à 1m,52, etc. Employé sans autre artifice, ce manomètre, dont les indications sont d'ailleurs parfaitement rigoureuses, présenterait un inconvénient pratique : l'excessive longueur que devrait présenter le tube pour indiquer des pressions de cinq ou six atmosphères porterait l'extrémité de la colonne de mercure à une hauteur telle que le mécanicien ne pourrait la voir commodément. C'est pour obvier à cette difficulté que l'on donne au manomètre à air libre une disposition particulière. Elle consiste à placer à la surface du mercure un petit flotteur suspendu à un fil passant sur une poulie et équilibré par un contre-poids. Ce contre-poids se meut en sens contraire du mouvement du mercure; il se trouve ainsi placé à une hauteur convenable pour que le mécanicien puisse aisément l'apercevoir. Une échelle graduée disposée le long du tube exprime les variations de la pression intérieure de la vapeur en atmosphères et en fraction de cet élément.

Tels sont les moyens de sûreté employés pour prévenir les accidents qui pourraient résulter de l'accroissement accidentel de la pression de la vapeur. Examinons maintenant les moyens qui sont mis en usage pour prévenir les dangers qui pourraient résulter d'une interruption dans l'alimentation de la chaudière. Ces appareils sont les *indicateurs du niveau de l'eau* et les *flotteurs.*

Le plus simple et le plus utile des *indicateurs du niveau de l'eau* est un tube de verre vertical qui communique avec l'intérieur de la chaudière, et qui se trouve fixé contre ses parois à l'aide de deux tubulures de cuivre. L'eau s'élève dans l'intérieur de ce tube transparent à la même hauteur que celle qu'elle occupe dans la chaudière. Le mécanicien a, de cette manière, constamment sous les yeux la hauteur que le liquide occupe dans le générateur.

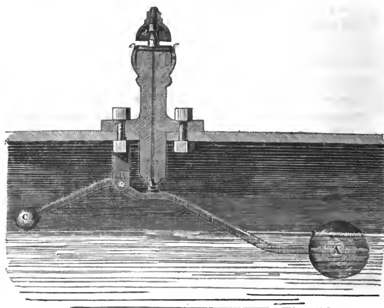
Cependant comme il est de la dernière importance que le chauffeur connaisse à chaque instant la quantité d'eau qui existe dans la chaudière, on ne se contente pas de ce premier moyen, et l'on met à la disposition de l'ouvrier d'autres appareils destinés à lui fournir la même indication. A cet effet, deux robinets sont adaptés à la chaudière en des points peu éloignés de la position que doit avoir constamment le niveau de l'eau; ils sont situés, l'un au-dessus, l'autre au-dessous de ce niveau, de telle sorte qu'en ouvrant successivement ces deux robinets, le chauffeur doit voir couler de l'eau par le robinet inférieur et de la vapeur s'échapper par l'autre.

Le *flotteur*, dont l'emploi est obligatoire pour les chaudières à vapeur, est composé d'un corps quelcon-

que équilibré de manière à surnager l'eau, et qui, placé à la surface de l'eau, s'élève ou s'abaisse avec elle. Le mouvement de ce flotteur est rendu sensible au dehors par une tige métallique déliée qui le surmonte verticalement, et qui traverse la paroi supérieure de la chaudière. L'extrémité de cette tige se ment sur une échelle graduée, et permet à l'ouvrier de suivre à chaque instant le mouvement de l'eau dans l'intérieur de la chaudière.

Les moyens précédents ne peuvent servir à prévenir l'abaissement du niveau de l'eau dans le générateur que tout autant que l'ouvrier y porte attention; ils deviennent nécessairement inefficaces par suite de sa négligence ou de sa distraction. Aussi les chaudières sont-elles toujours munies d'un appareil nommé *flotteur d'alarme,* qui a pour but de réveiller l'attention du mécanicien distrait. Cet ingénieux appareil est représenté dans la figure ci-après.

Un flotteur A se trouve fixé à l'extrémité d'un levier ABC, qui est muni, à son autre extrémité, d'un contre-poids C. Lorsque le niveau de l'eau se maintient dans la chaudière à une hauteur convenable, il tient la petite pièce conique *a* pressée contre l'orifice du tube vertical *b,* et ferme ainsi, en ce point, le générateur. Mais si par suite d'un défaut d'alimentation de la chaudière, l'eau vient à baisser, le flotteur la suit dans son mouvement, et l'orifice *a* se trouve ainsi débouché; la vapeur s'échappe aussitôt par l'issue qui lui est offerte dans le tuyau *ab.* Ce jet de vapeur s'élance par l'ouverture annulaire *cc*, et rencontrant le timbre métallique *d* par son contour aigu, il le met aussitôt en vibration et fait entendre un coup de sifflet



qui trahit le défaut de surveillance du chauffeur.

Ces précautions si multipliées pour entretenir d'une manière régulière et constante l'alimentation du générateur peuvent paraître superflues, quand on se souvient que cette alimentation se fait d'une manière continue, au moyen d'une pompe mise en mouvement par la machine elle-même et dont les dimensions sont calculées de telle sorte qu'elle refoule dans la chaudière une quantité d'eau à peu près correspondante à celle que l'évaporation fait disparaître. Mais le jeu de cette pompe peut être accidentellement sujet à quelque dérangement, et c'est afin que l'ouvrier puisse reconnaîtresi elle fonctionne avec la régularité nécessaire, que l'on met à sa disposition les

divers moyens qui viennent d'être énumérés pour apprécier la hauteur du niveau de l'eau. Quand le mécanicien s'aperçoit que le générateur renferme une trop grande quantité d'eau, il arrête le jeu de la pompe alimentaire, soit en décrochant la tige qui la rattache au balancier, soit en fermant un robinet adapté au tuyau d'aspiration; il rétablit le jeu de cette pompe dès que le niveau de l'eau commence à s'abaisser au-dessous de la ligne normale tracée à l'extérieur.

Nous croyons pouvoir borner à cette analyse succincte l'exposé des moyens principaux qui sont mis en usage pour régler les mouvements des divers organes de la machine à vapeur; ils donneront une idée suffisante de l'ensemble et des détails de cette machine aux personnes auxquelles cet ouvrage est adressé.

FIN DU TOME DEUXIÈME.